Conditions d’utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- Le Conservatoire numérique communément appelé le Cnum constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre (www.eclydre.fr).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d’œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s’inscrit dans le cadre de la loi nº 78-753 du 17 juillet 1978 :

- **la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue (Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - http://cnum.cnam.fr)**
- **la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l’objet d’une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.**

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- **les reproductions de documents protégés par le droit d’auteur, uniquement consultables dans l’enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l’autorisation préalable du titulaire des droits.**

4- Pour obtenir la reproduction numérique d’un document du Cnum en haute définition, contacter cnum(at)cnam.fr

5- L’utilisateur s’engage à respecter les présentes conditions d’utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d’une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

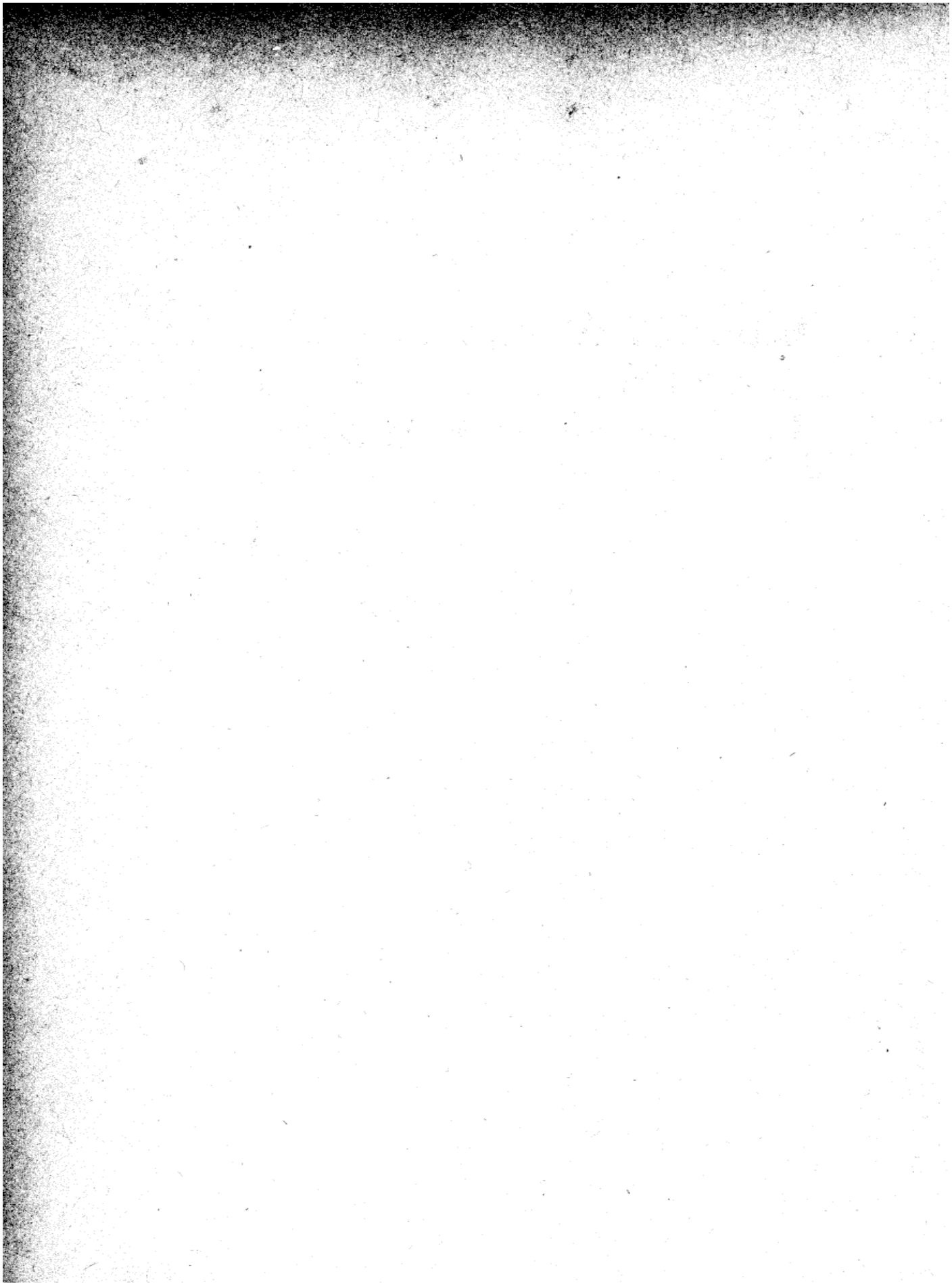
6- Les présentes conditions d’utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA GRANDE MONOGRAPHIE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Ledieu, Alfred Constant Hector
Auteur(s)	Ledieu, Alfred Constant Hector (1830-1891)
Auteur(s) secondaire(s)	Cadiat, Ernest (1859-19..?)
Titre	Le nouveau matériel naval
Adresse	Paris : Vve Ch. Dunod, 1889-1890
Collation	2 tomes (VIII-762 p., 664 p.) : ill., tabl. ; 25 cm + 2 atlas (4 p.-XXXV [i. e. 40] f. de pl. dépl., [4] p.-XVII-6 f. de pl. dépl.) : ill., tabl. ; 33 cm
Nombre de volumes	4
Cote	CNAM-BIB 8 Sa 33 (1-2) ; CNAM-BIB Pt Fol Sa 2 (1-2)
Sujet(s)	Navires de guerre Mécanique navale
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?8SA33
LISTE DES VOLUMES	Tome premier : balistique, agents explosifs, canons et mitrailleuses, hydraulique de manoeuvre pour l'artillerie, fusils, électricité en marine, piles, accumulateurs, dynamos et magnétos, lumière et éclairage électriques, torpilles
	Tome second et dernier : torpilles (suite et fin), torpilleurs et bateaux sous-marins, complément sur les armes à feu, appareils de sillage, de sondage et de signaux, utilisation industrielle du soleil, et production mécanique de chaud et de froid, ballons captifs et libres, aéronefs et avires, pigeons voyageurs, étude technique des guerres maritimes modernes, et constitution des flottes actuelles, formes et utilisation des principaux types de navires présentement en usage
	Atlas du nouveau matériel naval [I]
	Atlas du nouveau matériel naval [II]

NOTICE DU VOLUME	
Auteur(s) volume	Ledieu, Alfred Constant Hector (1830-1891)
Auteur(s) secondaire(s) volume	Cadiat, Ernest (1859-19..?)
Titre	Le nouveau matériel naval
Volume	Tome premier : balistique, agents explosifs, canons et mitrailleuses, hydraulique de manoeuvre pour l'artillerie, fusils, électricité en marine, piles, accumulateurs, dynamos et magnétos, lumière et éclairage électriques, torpilles
Adresse	Paris : Vve Ch. Dunod, 1889
Collation	1 vol. (VIII-762 p.) : fig. et tabl. ; 25 cm
Nombre de vues	775
Cote	CNAM-BIB 8 Sa 33 (1)
Sujet(s)	Navires de guerre Mécanique navale
Thématique(s)	Machines & instrumentation scientifique Transports

Typologie	**Ouvrage**
Langue	**Français**
Date de mise en ligne	**06/04/2018**
Date de génération du PDF	**24/02/2022**
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?8SA33.1



Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LE NOUVEAU

MATÉRIEL NAVAL

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PARIS — IMPRIMERIE C. MARPON ET E. FLAMMARION
26, RUE RACINE, 26

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

8° Sa 33

LE NOUVEAU
MATÉRIEL NAVAL

PAR

A. LEDIEU,

CORRESPONDANT DE L'INSTITUT DE FRANCE,
PRIX EXTRAORDINAIRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES,
OFFICIER DE LA LÉGION D'HONNEUR ET DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE; COMMANDEUR, OFFICIER
ET CHEVALIER DE DIVERS ORDRES ÉTRANGERS,
AUTEUR DE NOMBREUSES PUBLICATIONS SUR LES MACHINES MARINES,
LA NAVIGATION, ETC.,

ET

ERNEST CADIAT,

INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES.

DZS 10[illegible]
BIBLIOTHÈQUE
CONSERVATOIRE

L'OUVRAGE COMPLET CONTIENDRA **260** FIGURES INTERCALÉES DANS LE TEXTE,
ET SERA ACCOMPAGNÉ
D'UN ATLAS DE 50 PLANCHES.

TOME PREMIER

BALISTIQUE, AGENTS EXPLOSIFS, CANONS ET MITRAILLEUSES, HYDRAULIQUES DE MANŒUVRE POUR L'ARTILLERIE, FUSILS, ÉLECTRICITÉ EN MARINE, PILES, ACCUMULATEURS, DYNAMOS ET MAGNÉTOS, LUMIÈRE ET ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUES, TORPILLES.

PARIS

VVE CH. DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES.

Quai des Augustins, 49.

1889

(Droits de traduction et de reproduction réservés)

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

PRÉFACE

Par M. A. LEDIEU

L'année 1852 marque une date mémorable dans la marine moderne : la création du vaisseau à vapeur rapide par Dupuy de Lôme. A cette époque, l'art naval débutait dans cette extension considérable, qui, en moins de quarante ans, a amené quatre transformations totales des flottes de guerre (1), — forcé les grandes compagnies de navigation commerciale à renouveler plusieurs fois leur matériel, — introduit à bord des navires une foule de nouveaux appareils et mécanismes, — donné aux combats de mer une physionomie inconnue jusqu'alors, — et qui, enfin, a incidemment conduit à de notables améliorations dans les procédés de navigation, et abouti au percement des isthmes pour multiplier les transits.

Que de combinaisons auparavant inconnues; que de créations d'engins complexes! Quelle nuée de perfectionnements réclamés par les navires de guerre et de commerce dans leur vertigineuse transformation!

(1) 1° Vaisseaux et navires à vapeur mixtes; 2° vaisseaux et frégates à vapeur rapides; 3° bâtiments cuirassés de bout en bout, y compris les œuvres mortes; 4° cuirassés à réduit central ou à tourelles, blindés à l'extérieur plus ou moins partiellement et à l'intérieur sur le pont de la flottaison, avec coque cellulaire à cofferdams; croiseurs rapides protégés semblablement; torpilleurs. Sans compter qu'on tend à revenir au cuirassement total depuis la constatation des effets formidables des obus à la mélinite.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Tout cela s'est réalisé grâce aux dernières conquêtes de la Science appliquée. Ainsi, la *Métallurgie* est venue apporter son concours au blindage des cuirassés, à l'artillerie moderne et à ses hydrauliques de manœuvre, aux tôles en fer ou en acier entrant dans la confection des coques et des générateurs à vapeur; l'*Électricité* s'est imposée pour les mises de feu simultanées des canons, pour les torpilles, l'éclairage intérieur et extérieur à bord des bâtiments, les correspondances télégraphiques et téléphoniques; la *Thermochimie* a prêté le secret de ses découvertes à la confection des poudres récentes et des divers explosifs destinés aux torpilles et aux nouveaux obus, etc., etc.

On le voit, toutes les sciences expérimentales sont intéressées aujourd'hui aux progrès de la marine. La somme de connaissances nécessaires à ceux qui s'occupent de ces questions va en augmentant chaque jour; et les recherches deviennent de plus en plus difficiles au milieu de documents épars, dont le nombre se multiplie sans cesse.

Nous avons pensé, M. Cadiat et moi, que le moment était venu de réunir en un seul faisceau les nombreuses branches du nouvel art maritime, et de présenter une sorte de résumé de tous les perfectionnements les plus récents du *matériel naval proprement dit*, c'est-à-dire abstraction faite des coques et des machines propulsives. Tel est le but du livre.

Il s'adresse non seulement aux officiers de vaisseau et de machine, mais encore aux industriels qui prêtent leur concours à la construction des navires et des armes. Il convient également aux officiers de l'armée de terre, qui désirent acquérir une instruction supérieure sur tout ce qui concerne l'art de la guerre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'ouvrage comprend la *balistique*, — les *explosifs*, — l'*artillerie* et ses *hydrauliques de manœuvre*, — les *fusils*, — l'*électricité en marine*, et en particulier la *lumière* et l'*éclairage électrique à bord*, — les *torpilles*, — les *torpilleurs* et les *bateaux sous-marins*, — les *lochs* et les *sondeurs nouveaux*, — l'*hydrophone*, — la *télégraphie optique*, — les *aérostats*, etc., etc.

Le grand nombre des sujets à traiter ne pouvait permettre de donner à chacun des chapitres un développement intégral. Nous nous sommes bornés à faire ressortir les points saillants, en sacrifiant tous les détails d'intérêt secondaire, qu'on peut du reste trouver dans les divers manuels publiés par le ministère de la marine, à l'usage des hommes des différentes spécialités de la flotte. D'un autre côté, comme il s'agissait de traiter les questions surtout au point de vue de leur application, nous avons évité les considérations purement théoriques et les calculs abstraits.

Chaque fois que cela s'est pu, nous avons comparé ce qui se pratique en France et à l'étranger, afin d'indiquer la voie dans laquelle les progrès à venir doivent être tentés.

La grande quantité de faits exposés dans notre publication montre à quel point aujourd'hui toutes les idées de l'espèce ont été creusées et remaniées, et combien il est difficile de trouver des solutions entièrement neuves. Les chercheurs pourront tirer de là un enseignement précieux : c'est qu'il convient expressément et plus que jamais à tout esprit inventif de ne donner libre cours à son essor qu'après s'être assuré qu'il n'a pas de devanciers pour la nouvelle combinaison qu'il projette.

Au point de vue des agents moteurs, l'avenir, plus ou

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moins lointain, semble appartenir à l'emploi direct de composés chimiques, tels que les hydro-carbures, et en particulier les huiles minérales très volatiles du type gazoline, relativement peu pesants et encombrants eu égard à la quantité d'énergie latente qu'ils renferment, et, en outre, susceptibles de se combiner avec l'air lentement et sans déflagrations, ni résidus capables d'engorger ou de détériorer les récipients où s'effectuera la combinaison. D'ailleurs l'invention devra être double, en ce sens qu'il faudra aussi trouver le moyen d'organiser les appareils de réception de la force motrice, de façon à éviter les trop hautes températures et à réaliser un cycle d'opérations présentant un rendement avantageux.

Quant à l'électricité, l'idée que s'en fait le public et même bon nombre d'ingénieurs a besoin d'être combattue. Cet agent résulte de l'*association* de la matière ordinaire à l'éther cosmique, substance aussi bien pondérable que cette matière, mais suivant une autre loi, et qui, considérée *seule*, produit les phénomènes lumineux. En principe, l'électricité n'est une source d'énergie que dans les décharges. Sinon, elle ne sert absolument que de propagateur à la force ou mieux au travail mécanique qui provient soit de l'énergie latente emmagasinée dans les piles ou les accumulateurs, soit de l'énergie sensible du moteur qui actionne les dynamos ou les magnétos.

La propagation du travail mécanique s'effectue ici au moyen des vibrations sur place de l'éther des conducteurs, ce qui constitue l'entité *fictive* qu'on nomme *courant électrique*. Dans ce rôle, l'électricité est admirable par la parfaite souplesse avec laquelle elle se plie à la transmission à distance des énergies diverses, particulièrement quand elles sont très faibles, comme cela se rencontre en télégraphie et en téléphonie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Au surplus, il n'y a pas à compter sur l'existence de quelque nouveau fluide ou agent mystérieux, qui ne se serait pas révélé jusqu'ici, et qui viendrait donner un nouvel élan aux incessantes découvertes de nos jours.

Grâce à la théorie mécanique de la chaleur interprétée dans sa plus large extension et devenue la théorie vibratoire de la matière, tous les phénomènes physiques et chimiques sont actuellement regardés comme ayant leur origine dans les forces et les masses inhérentes aux atomes aussi bien de l'éther que de la matière ordinaire. Quelques esprits chagrins contestent ces vues si larges et si homogènes; ils voudraient revenir en arrière, en compliquant même les anciennes idées de conceptions à eux d'ordre analogue. Mais l'immense majorité des savants se rallie aux principes nouveaux, pour la raison topique que malgré leur immense multiplication due aux continuels progrès des sciences expérimentales, les phénomènes qui nous occupent s'expliquent tous par les théorèmes de la mécanique rationnelle, qui ne comportent que des forces et des masses respectivement d'une seule et même nature.

Dans un autre ordre d'idées, il importe encore de prévenir qu'il y a un abîme entre la découverte, si bien étudiée qu'elle soit, d'un composé nouveau ou d'un appareil ou engin original et sa complète réalisation pratique, de façon à entrer franchement dans le domaine industriel. Pour cette réalisation, il ne suffit pas de posséder les meilleures instructions ou les dessins les plus adéquats; on voit, à l'user, surgir des difficultés de détail de toutes sortes, que peut seule vaincre une grande sagacité dans la manipulation des substances ou dans la confection métallique des pièces et leur association. En un mot, le *tour de main* joue là un rôle considérable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C'est ce qui explique la réputation de certaines usines, et en particulier des ateliers de Whitehead pour les torpilles, dont on a sous les yeux les engins tout démontés, et qu'on ne réussit cependant à reproduire qu'après de longs et patients tâtonnements; encore quand on y parvient. — Telle est aussi la difficulté presque invincible qu'on rencontre dans la reconstitution d'un explosif, comme notre célèbre poudre BF du fusil de 8^{mm}, dont on peut analyser un échantillon, sans pour cela être en mesure de refaire soi-même le produit.

La digression précédente nous a semblé utile pour édifier complètement les chercheurs auxquels nous avons déjà recommandé plus haut de ne rien entreprendre sans avoir pris connaissance de toutes les nouveautés tentées avant eux, et que nous avertissons derechef, afin de les tenir en garde contre de décourageantes déceptions, dans le cas où ils seraient sur la voie d'une véritable découverte.

L'ouvrage eût été incomplet si les perfectionnements obtenus n'avaient été corroborés par les résultats considérables qu'ils ont produits.

Sous le rapport commercial, les améliorations survenues portent immédiatement leur fruit pacifique; et l'estimation de leur valeur se fait en quelque sorte au jour le jour. Mais, au point de vue militaire, il n'en est plus ainsi; il faut attendre qu'il survienne des actions navales, dont les effets destructeurs et meurtriers puissent être analysés avec soin. A l'aide d'un tel examen, on apprécie *a posteriori* la justesse des inductions dues, dans le développement du matériel naval, à l'observation d'événements antérieurs et surtout à l'intelligence des inventeurs, et qui ont été les déterminantes des progrès accomplis; puis on pèse le degré d'exactitude des prévi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sions que les capitaines ont pu faire avant le combat, en raison des nouveaux engins dont ils allaient se servir pour la première fois, ou qu'ils devaient rencontrer chez leurs adversaires.

Il nous a donc fallu compléter le livre par une *étude technique des guerres maritimes modernes et des flottes actuelles*, le tout envisagé non seulement sous le rapport des manœuvres pendant l'action, mais aussi en regard des nouveaux moyens de défense et d'attaque.

Cet exposé nous a conduit à discuter la constitution actuelle des flottes et à préciser la valeur des principales unités qui les composent, y compris les grands paquebots de commerce, destinés à devenir des croiseurs en cas de guerre.

Nous avons eu recours, pour la partie tactique et stratégique de l'étude en vue, à M. Ch. Chabaud-Arnault, capitaine de frégate de réserve, un de nos meilleurs écrivains maritimes.

Puissent nos officiers de vaisseau, les jeunes surtout, s'inspirer des beaux exemples mis là sous leurs yeux.

Ils y verront, dans la guerre de sécession, Ferragut, commandant l'escadre fédérale, au combat de Mobile, prendre le poste de chef de file à la suite de la destruction sous-marine de son bâtiment de tête, entraîner comme une flèche tous ses navires alors hésitants, et les conduire droit au feu, à travers une passe hérissée de torpilles et au fond de laquelle s'était réfugiée l'escadre du Sud.

Ils acclameront, à Lissa, Tegethoff signalant à ses cuirassés de « *courir sus à l'ennemi pour le couler* »; puis réparant, par une magnifique évolution cap pour cap, l'ardeur mal contenue de ses capitaines.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ils admireront, dans la guerre du Chili contre le Pérou, l'habileté et le courage de l'amiral péruvien Grau, tenant pendant plusieurs mois ses nombreux adversaires en échec avec le petit cuirassé à tourelles « *Huascar* », et sachant mourir héroïquement avant la reddition du navire.

Enfin ils s'inspireront de notre illustre Courbet, qui, grâce à sa parfaite science technique, connaissait à fond toutes les ressources de chacun de ses navires et de leurs engins, et ainsi n'a jamais risqué sans nécessité la vie d'aucun de ses vaillants matelots.

Surtout ils garderont la mémoire de ce grand cœur, autant victime de son inébranlable esprit de discipline que des fatigues de sa glorieuse campagne, qui sut si bien montrer comment on doit, sous l'œil de Dieu, aimer la Patrie sans borne et sans phrase.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

LE NOUVEAU

MATÉRIEL NAVAL

PREMIÈRE PARTIE

BALISTIQUE

Les questions d'artillerie jouant un rôle très important dans cet ouvrage, nous avons cru utile d'exposer préalablement en quelques pages les principales considérations de balistique théorique et expérimentale sur lesquelles on s'appuie pour l'étude des bouches à feu et des projectiles. — Notre programme étant de décrire les perfectionnements apportés depuis quelques années au matériel naval, nous ne pouvons donner à la balistique tout le développement qu'elle comporte. Nous nous bornerons donc à en faire un résumé, sans entrer dans la démonstration des lois établies ni dans le détail des expériences. Nous renvoyons ceux de nos lecteurs qui désireront approfondir cette question au savant *Traité de balistique expérimentale*, composé par M. Hélie et revu par M. Hugoniot.

BALISTIQUE INTÉRIEURE

La balistique intérieure étudie les lois du mouvement du projectile dans l'âme d'une bouche à feu, la force qui produit ce mouvement et les variations de cette force.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 1. **Mesure de la force.** — La force produite par la pression des gaz de la poudre se mesure de différentes façons : soit directement par l'emploi des crushers ou de la balance manométrique ; soit indirectement en déduisant la grandeur de la force de la loi du mouvement d'un corps soumis à l'effet de cette force.

On peut encore étudier le mouvement du projectile en le déduisant du recul de la pièce, et en supposant égales les deux quantités de mouvement.

§ 2. **Crusher.** — Pour mesurer directement la force on fait usage d'un appareil à écrasement nommé *crusher*, qui est basé sur le principe suivant :

Quand un cylindre de cuivre, dont une face est appuyée sur un bloc parfaitement résistant, subit sur l'autre base une pression déterminée, la réduction de longueur qu'il éprouve atteint une certaine limite qu'elle ne dépasse jamais, quelle que soit la durée de la pression.

Par une série d'expériences faites sur des cylindres aussi identiques que possible, on peut établir la relation existant entre la

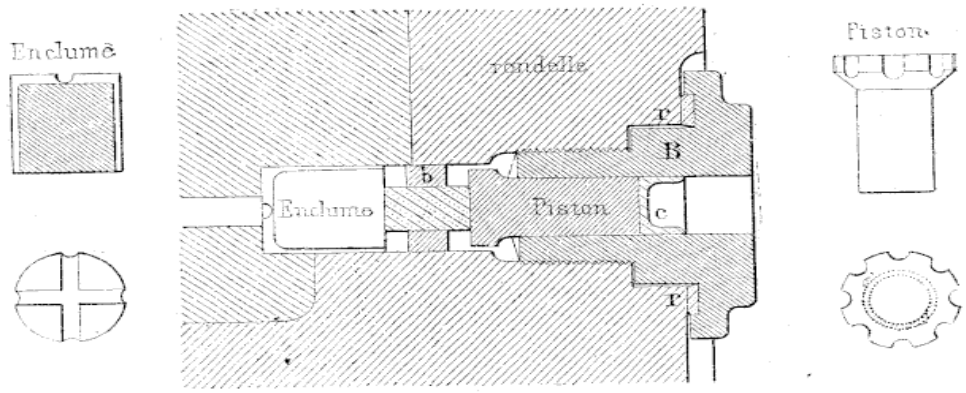


Fig. 1.

réduction de longueur et la pression produite par des poids donnés ; réciproquement la réduction de longueur subie par un cylindre peut servir à déterminer la pression qu'il a subie. Ce procédé n'est pas absolument exact parcequ'il est impossible d'avoir des cylindres identiques, et que la réduction de longueur varie dans de faibles limites pour des différences de pression considérables.

L'appareil (fig. 1) est formé d'un petit cylindre en cuivre rouge

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 13 millimètres de hauteur appuyé sur une enclume en acier trempé. Un bouchon en acier B, muni d'une rondelle en cuivre rouge *r*, ferme l'entrée du logement. Le bouchon est percé d'un trou central où s'engage un piston en acier trempé, terminé par une embase qui presse le crusher. Un petit obturateur en cuivre *c* en forme de coupelle est appliqué contre la face avant du piston soumis à la pression du gaz.

Cet appareil peut donner la pression à un endroit quelconque de la pièce ; mais avec les canons chargés par la culasse on le place dans un logement cylindrique parallèlement à l'axe dans la rondelle mobile de la vis culasse.

§ 3. **Balance manométrique.** — Cet appareil, imaginé par M. Marcel Deprez, permet d'avoir à un moment donné la pression en un point.

Il se compose d'un piston différentiel dont la petite base *b* (fig. 2) reçoit la pression du gaz ; la grande base B est soumise dans un récipient C à la pression de l'air comprimé. Supposons que *b* ait 1 centimètre carré de surface et B 100 centimètres ; si la pression de l'air est de 5 kilogrammes par centimètre carré, le grand piston supporte 500 kilogrammes, et pour que le petit piston bouge il faut que la pression des gaz par centimètre carré atteigne au moins 500 kilogrammes.

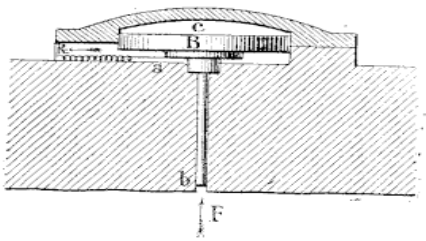


Fig. 2.

Si cette limite est dépassée, le piston se soulève et laisse échapper une lame d'acier *a* sollicitée par un ressort R et placée dans un circuit électrique ; le moment où le fait s'accomplit est enregistré par un appareil nommé *chronographe*, dont nous parlerons plus loin. On connaît la pression produite sur la grande base par l'air comprimé, et l'on peut déterminer ainsi la pression maxima dans l'âme et le moment où elle se produit.

§ 4. **Balance manométrique à pistons multiples.** — Un perfectionnement apporté à l'appareil précédent par M. Marcel Deprez, permet d'avoir d'un seul coup les limites entre lesquelles varie la pression maxima et même la loi des pressions en fonction du temps.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'appareil repose toujours sur le même principe. Il se compose d'un piston différentiel bB tel que nous venons de le décrire.

Autour du réservoir C (fig. 3), qui est rempli de mercure, sont disposés dix pistons; les petites bases b'_1, b'_2... qui supportent la pression du mercure sont égales entre elles. Les grandes bases soumises à la pression de l'air comprimé contenu dans le réservoir A ont des surfaces respectivement égales à 1, 2, 3... 10 fois celles des petites bases. On conçoit donc que chaque piston se soulèvera suivant que la pression transmise par le mercure sera égale à 1, 2, 3... 10 fois celle de l'air comprimé. Supposons que la base b du piston différentiel ait 1 centimètre carré, et la grande base B 100; si, par l'effort des gaz, les 5 premiers pistons se déplacent, c'est que la pression des gaz est comprise entre 500 fois et 600 fois celle de l'air comprimé. Avec un chronographe on peut enregistrer le moment où chaque petit piston se soulève et l'on obtient ainsi la marche de la pression en fonction du temps.

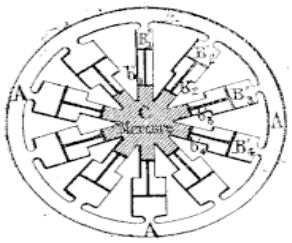


Fig. 3.

§ 5. **Appareils pour mesurer indirectement la pression.** — *Accéléromètre*. L'accéléromètre se compose (fig. 4) d'un piston S glissant librement dans un canal percé normalement à l'axe du canon. Il reçoit directement à sa base p la pression des gaz de la poudre. Un renflement T et une vis micrométrique E permettent de limiter sa course. Le piston est donc arrêté brusquement après avoir parcouru l'espace qui lui est ménagé. Un second renflement sert à supporter un poids additionnel A. Quand le piston poussé par les gaz vient buter sur le chapeau, le poids A continue à monter avec la vitesse v acquise; il s'élève le long de la tige entraînant avec lui un index C qui glisse à frottement doux, s'arrête à la position extrême de sa course et ne retombe pas avec le poids. On a ainsi la hauteur h du lancé.

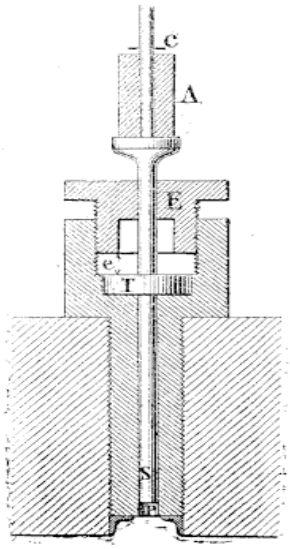


Fig. 4.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour se servir de l'appareil, on exécute une série d'expériences en faisant varier chaque fois la course e du piston.

Appelons :

p le poids total du piston et de A,
F la force motrice, c'est-à-dire la pression du gaz sur la base du piston au moment où ce piston vient buter à fond de course, après avoir parcouru un chemin e.

Soient :

t le temps employé à ce trajet,
v la vitesse acquise au bout de ce temps,
h la hauteur du lancé correspondant à cette vitesse,
W l'accélération.

On a

$$F = mW = \frac{p}{g}\frac{dv}{dt},$$

et

$$v^2 = 2gh.$$

En différentiant on obtient

$$2vdv = 2gdh, \quad vdv = gdh;$$

$$\text{or} \quad \frac{de}{dt} = v, \quad \text{d'où} \quad dt = \frac{de}{v}.$$

On tire de là

$$F = p\frac{dh}{de}.$$

On considère comme suffisamment exacte la formule

$$F = p\frac{\Delta h}{\Delta e},$$

dans laquelle on remplace les infiniment petits dh et de par des variations finies mais très petites de h et de e. On simplifie le calcul en donnant au piston des courses régulièrement croissantes, c'est-à-dire en faisant tous les Δe égaux; alors F devient proportionnel à Δh, c'est-à-dire à l'accroissement du lancé.

Avec de fortes pressions on obtiendrait des hauteurs du lancé trop considérables. Pour y remédier, on oppose à la masse un ressort à boudin convenablement taré.

§ 6. **Accélérographe et chronographes.** — Pour obtenir avec l'accéléromètre la loi des pressions en fonction du temps, il faut exécuter un très grand nombre d'expériences dans des conditions identiques, ce qui offre de sérieuses difficultés. L'*accélérographe*, au contraire, donne en une seule expérience la loi cherchée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans cet appareil, dont nous nous bornons à indiquer le principe, le piston porte une enveloppe couverte de noir de fumée, devant laquelle se meut dans une direction perpendiculaire à l'axe du piston et suivant une loi connue un style en acier sollicité par un ressort. Dès que le piston se met en mouvement, un déclic laisse échapper le style, qui trace sur la plaque noircie une courbe résultant du mouvement horizontal du style et du mouvement d'ascension du piston. Un diapason vibrant trace sur la plaque une ligne sinusoïdale permettant d'apprécier $^1/_{1000}$ de seconde. On obtient ainsi la courbe des espaces en fonction du temps, d'où l'on peut passer, en différentiant, à celle des vitesses, et de cette dernière courbe à celle des accélérations. On se sert du microscope pour lire la courbe sur la plaque noircie. Afin que les résultats soient admissibles, il faut que l'instrument soit d'une précision parfaite.

Une fois connue la loi des pressions, on a à déterminer la loi du mouvement du projectile dans l'âme de la pièce. Cette étude présente de grandes difficultés. Mais on est parvenu à résoudre ce problème au moyen de courants électriques, que le projectile interrompt lui-même à son passage aux différents points de la pièce. Les *chronographes* permettent d'enregistrer les époques de rupture des courants et l'on peut ainsi tracer la courbe des espaces en fonction du temps. L'appareil employé est l'interrupteur Letard. Il se compose (fig. 5) d'une semelle en bois S collée à la résine sur les parois de l'âme ; cette semelle porte un support traversé par un clou conique en laiton *a*, dont la tête repose sur une rondelle en laiton *b* ; deux vis servent d'attaches à un circuit électrique. Le clou est maintenu par une goupille *g*. Quand le projectile rencontre la pointe du clou, la goupille se casse, le clou est chassé, le courant est interrompu, et le chronographe enregistre le moment où le fait se passe.

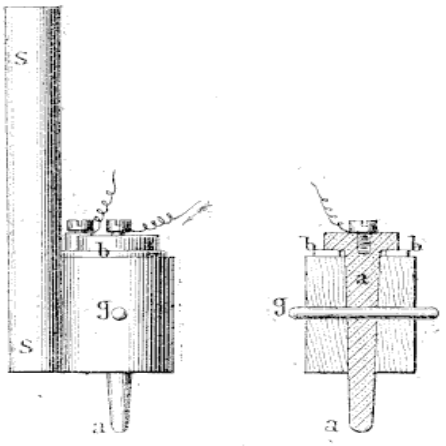


Fig. 5.

On peut placer plusieurs de ces appareils en divers points de l'âme et avoir ainsi la loi du mouvement du projectile.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

De la courbe des espaces on passe par double différentiation à celle des vitesses et à celle des accélérations.

§ 7. **Projectile enregistreur du colonel Sebert.** — La force calculée comme nous venons de le voir, ne représente pas exactement la pression exercée sur le culot, mais la différence entre cette pression et les résistances passives : frottement dans les rayures, emboutissage de la ceinture, etc...

Pour connaître ces résistances, il faut pouvoir mesurer à la fois les accélérations du projectile et les pressions sur le culot. Ce résultat s'obtient avec le projectile enregistreur du colonel Sebert.

La figure 6 représente un de ces projectiles du calibre de 24^{cm} ; il est cylindrique, creux et fermé à ses deux extrémités par des bouchons à vis A et B. A l'intérieur se trouve placée une tige rigide dont les faces planes N sont enduites de noir de fumée, et qui est terminée par deux tourillons lui permettant de tourner librement dans les encastrements *a* et *b*. Le long de la tige, sur chacune des faces, peut courir un curseur C muni d'un diapason, dont chaque branche porte une plume en contact avec la face noircie. Le système étant démonté, on place le curseur à l'avant du projectile ; et on assure sa position en faisant saisir entre les branches du diapason un petit coin *i* fixé sur la tige. Si l'on tire le projectile ainsi disposé, le mouvement de rotation n'est pas ressenti par le curseur, puisque la tige entière, grâce à ses tourillons, est indépendante du mouvement de rotation. Le choc du départ fait décapeler le diapason qui vibre suivant une loi connue ; les plumes tracent le long de la tige noircie entraînée par le projectile deux courbes sinusoïdales, dont l'écartement des ondulations varie avec la vitesse du projectile, et qui enregistrent ainsi la loi des espaces sur une longueur égale à la tige.

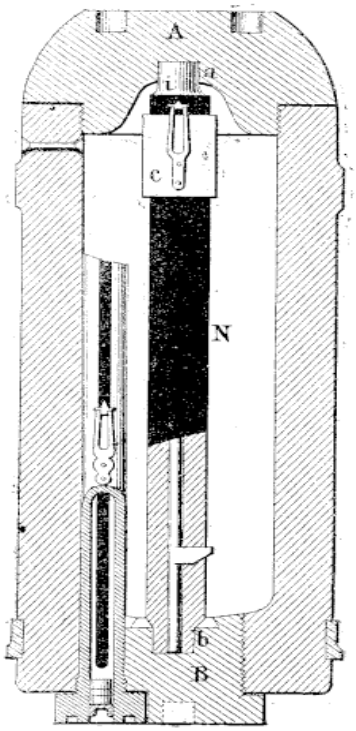


Fig. 6.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour obtenir la loi sur une plus grande longueur, on a installé un second curseur du même genre. Le premier arrivant à bout de course rencontre un index qui fait décapeler l'autre, dont le diapason va tracer à son tour sa courbe.

Le dernier curseur ayant à ce moment la vitesse propre du projectile n'enregistre plus qu'un mouvement relatif et plus lent; on peut en déduire le mouvement absolu.

Considérons en effet la figure 7; OO′ est l'arc de la courbe des espaces donné par le premier curseur. En O′ commence la course du deuxième curseur; il est animé, comme nous l'avons dit, de la vitesse actuelle du boulet, et sa courbe des espaces devient la tangente en O′. La courbe du mouvement relatif est figurée en O′A′B′. A une époque quelconque a le projectile a parcouru un chemin aA′ par rapport au curseur. Celui-ci a fait dans le même sens un chemin $a\alpha$. Le chemin aA parcouru par le boulet est donc égal à aA′ + $a\alpha$.

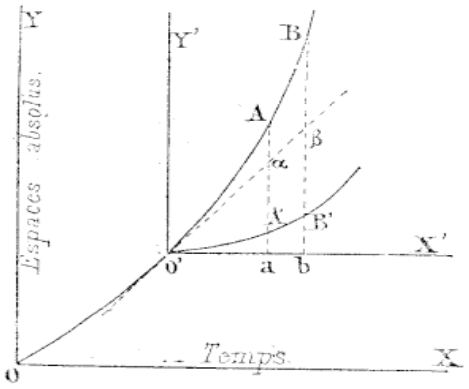


Fig. 7.

On a pu obtenir ainsi la loi continue du mouvement du projectile dans un canon de 24 centimètres (modèle 1870) sur une longueur de 1^{m},62. La durée totale du trajet a été de 0^{s},013; La charge était de 28 kilogrammes. Les deux courbes se raccordaient très exactement. De là on déduit ensuite la courbe des vitesses et celle des accélérations du projectile.

§ 8. **Mesure directe de la pression des gaz sur le culot.** — Pour effectuer cette mesure, on a logé dans le projectile un tube contenant un piston, dont on peut à volonté charger la tête, et qui reçoit directement la pression des gaz. Le tube porte un diapason qui inscrit ses vibrations sur une partie noircie de la tige du piston. On obtient ainsi la loi du mouvement de ce piston. Si nous supposons que le piston ait, à section égale, une masse supérieure à celle du projectile, comme il est libre dans son tube, il partira généralement plus vite que le projectile qui est ralenti par le forcement des rayures; mais ensuite, à cause de la supé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

riorité de sa masse, le piston se trouve retardé et il a un mouvement relatif de recul par rapport au boulet. Soit M (fig. 8) un point quelconque de la courbe des espaces du projectile, M′ le point correspondant, pour le même instant Om, de la courbe relative du piston. Portons $M\mu = mM'$; μ est évidemment le point correspondant de la courbe des espaces absolus du piston.

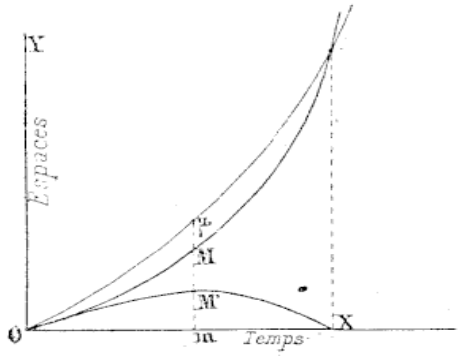


Fig. 8.

De cette courbe on passe par double différentiation à celle des vitesses, puis à celle des accélérations, c'est-à-dire à la courbe des pressions réelles sur le culot. Connaissant d'autre part l'accélération du projectile, c'est-à-dire la résultante des forces produisant son mouvement, on en conclut par différence la valeur des résistances passives à chaque époque du phénomène.

§ 9. **Recul.** — Ayant déterminé la loi des pressions et le mouvement du projectile dans l'âme, nous avons encore à étudier l'effet des pressions sur la cuvette, c'est-à-dire le recul.

A la rigueur, cette étude pourrait suffire à établir presque tous les faits énoncés précédemment. En effet on peut admettre que le projectile et le canon se déplacent de quantités proportionnelles à leurs masses. Le canon peut donc être considéré comme un second projectile, dont le mouvement est d'autant moins rapide par rapport à celui du boulet que son poids est plus considérable par rapport à celui de ce même boulet. Alors, connaissant la loi du mouvement du canon, on pourra en déduire les pressions sur le fond de l'âme et, par suite, celles qui agissent sur le culot du projectile.

Pour rendre négligeables les résistances passives, on tire le canon sans affût. Les tourillons reposent sur un châssis en bois, garni à sa partie supérieure de bandes de fer graissées avec soin.

§ 10. **Vélocimètre.** — L'appareil qui sert à mesurer le recul se nomme *vélocimètre*. Il se compose d'un ruban d'acier lié invariablement au canon et parallèle à son axe. La face supérieure du ruban est enduite de noir de fumée; au-dessus se trouve un diapason fixé au sol et portant une plume à l'une de ses branches.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si l'on fait feu, le canon reculant avec son ruban d'acier, le diapason vibre et enregistre directement sur la face noircie du ruban la loi des espaces. On passe par double différentiation à celle des vitesses et à celle des accélérations qui donne la valeur de la force produisant le mouvement.

Tous les appareils décrits dans les paragraphes précédents, fort remarquables au point de vue théorique, n'ont pas procuré jusqu'à présent de résultats bien pratiques. Ils ont d'ailleurs le grand inconvénient d'exiger beaucoup de temps pour chaque expérience.

BALISTIQUE EXTÉRIEURE

§ 11. **Définition.** — La balistique extérieure étudie les lois du mouvement du projectile dans l'air. En sortant du canon, il est soumis à plusieurs forces qui tendent à le faire dévier de sa direction primitive qui est l'axe de la pièce. Ces forces sont la pesanteur et la résistance de l'air.

A sa sortie de la pièce le projectile est animé d'une vitesse dite *vitesse initiale*. On appelle *vitesses restantes* celles qu'il possède en différents points de sa trajectoire.

§ 12. **Chronographe Le Boulengé.** — Pour déterminer la vitesse initiale, on enregistre les époques auxquelles le projectile franchit deux points différents de sa trajectoire dans l'air, en interposant sur son passage et à des distances connues des cadres-cibles. Ces appareils sont formés d'un fil de cuivre contourné plusieurs fois sur lui-même, de manière à ne laisser que des intervalles plus petits que le diamètre du projectile. Un courant électrique distinct parcourt le fil de chaque cadre. Le projectile en passant interrompt le courant; et si l'on enregistre le moment auquel se produit chaque interruption, on obtient le temps mis par le projectile pour parcourir l'espace des deux cadres successifs, et par suite sensiblement sa vitesse.

Le chronographe Le Boulengé (fig. 9) se compose d'une longue tige *a* en fer doux, dite *chronomètre;* elle est soutenue verticalement par un électro-aimant A, actionné par le courant du premier cadre. Une seconde tige en fer *b*, appelée *enregistreur*, est maintenue par un électro-aimant B parcouru par le courant du second cadre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'enregistreur tombe sur un plateau P, et faisant basculer le levier Pd, déclanche un couteau c, qui est pressé horizontalement par un ressort et vient tracer sur le chronomètre un petit trait. Si l'on a préalablement fait un trait d'origine quand l'appareil est au repos, la distance des deux traits donne la hauteur H′ de chute du chronomètre, depuis l'époque où il a commencé à tomber, jusqu'au moment où il a reçu le deuxième trait. Cette distance correspond à un intervalle de temps donné par l'expression

$$T' = \sqrt{\frac{2H'}{g}}.$$

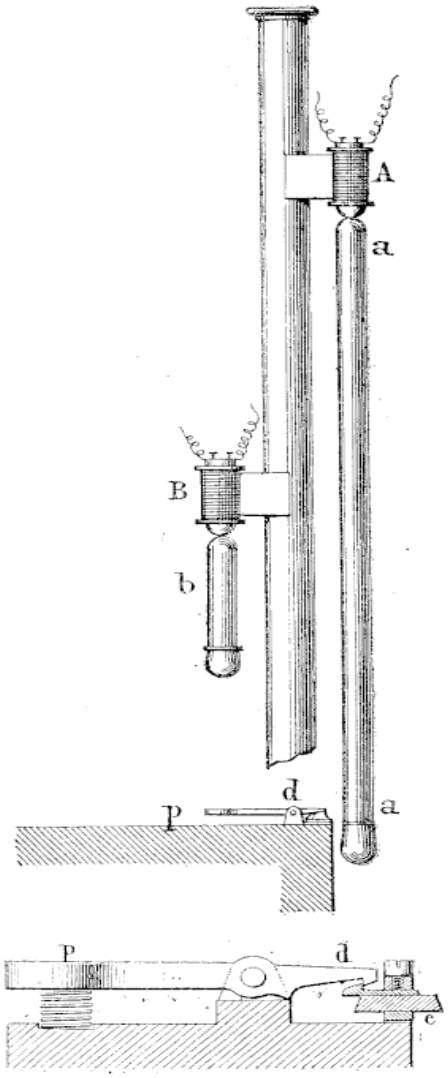


Fig. 9.

Voyons ce que représente ce temps T′ par rapport au temps T cherché, compris entre le moment t où le projectile traverse le premier cadre et le moment t' où il traverse le second.

Entre le moment t et le départ du chronomètre, il s'écoule un temps θ; c'est donc à l'époque $t + \theta$ que sa chute commence. De même entre le moment t' et celui où le couteau trace son trait, il s'écoule un temps θ' absorbé par l'électro-aimant B, un temps θ'' employé à la chute de l'enregistreur et un temps θ''' nécessité par la manœuvre du couteau. L'époque à laquelle le trait est inscrit est donc égale à

$$t' + \theta' + \theta'' + \theta'''.$$

Et la différence est

$$T' = t' + \theta' + \theta'' + \theta''' - (t + \theta),$$
$$T' = (t' - t) + (\theta' + \theta'' + \theta''' - \theta).$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Or $t' - t$ est le temps cherché T; T′ est donné par l'instrument; il reste donc à déterminer la somme des constantes entre parenthèses.

Pour cela il suffit dans la formule

$$T' = T + (\theta' + \theta'' + \theta''' - \theta),$$

de faire $T = 0$, c'est-à-dire d'opérer la rupture simultanée des deux courants; on se sert à cet effet d'un appareil nommé *disjoncteur*.

On obtient ainsi sur la tige du chronomètre une marque dite de *disjonction* qu'il suffit de prendre pour origine.

§ 13. **Utilité d'allonger les projectiles.** — On donne maintenant à tous les projectiles une forme allongée, afin de diminuer l'influence de la résistance de l'air. Si en effet on considère deux boulets de même masse m lancés avec une vitesse égale v, ayant, par suite, même force vive initiale $\frac{1}{2} m v^2$; et si l'on suppose les calibres différents, la résistance de l'air sera évidemment plus forte avec le calibre le plus grand, et le chemin parcouru sera plus faible pour le gros boulet que pour l'autre.

Il y a donc intérêt à diminuer les calibres et à allonger les projectiles; on leur donne généralement la forme cylindrique avec une pointe ogivale destinée à diminuer encore la résistance de l'air.

§ 14. **Nécessité de la rotation du boulet.** — Mais un pareil projectile cesse bientôt de cheminer suivant son axe. En effet, la résultante de sa vitesse initiale et de sa vitesse de chute, c'est-à-dire sa vitesse réelle, devient oblique par rapport à l'axe (fig. 10). Il en est de même de la résistance de l'air. Si donc le point d'application de cette résistance est sur l'avant du centre de gravité, ce qui est le cas des projectiles actuels, le boulet basculera et sa pointe se relèvera. La résistance de l'air augmentera en consé-

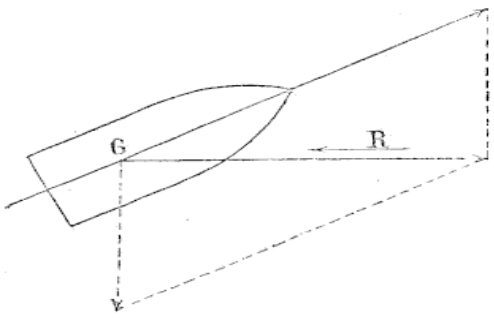


Fig. 10.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quence et la portée se trouvera réduite. De là vient la nécessité d'imprimer au boulet un mouvement rapide autour de son axe. Ce fait est analogue à ce qui se passe dans une toupie animée d'un mouvement rapide de rotation, et dont l'axe ne peut être déplacé sans un effort assez grand. La stabilité de l'axe dépend : 1° de la vitesse angulaire de rotation; 2° de la masse du corps et de sa répartition autour de l'axe de rotation; elle est représentée par

$$\omega^2 \Sigma m r^2 ;$$

ω est la vitesse angulaire de rotation, m la masse d'un élément quelconque, r sa distance à l'axe.

On voit donc qu'étant donnée la nécessité du faible calibre, c'est à ω qu'il faut s'adresser pour obtenir la stabilité. On doit augmenter autant que possible l'inclinaison des rayures et la vitesse initiale. Si l'on appelle v la vitesse initiale, θ l'inclinaison finale des rayures et a le calibre, ω est donné par :

$$\omega \frac{a}{2} = v \operatorname{tg} \theta.$$

§ 15. **Précession**. — A sa sortie de l'âme, le projectile animé d'une grande vitesse de rotation est soumis à la résistance de l'air qui agit obliquement sur lui pour le redresser. Ces deux mouvements se composent entre eux ; et il en résulte que l'axe décrit définitivement un cône autour d'une ligne dirigée suivant la résistance de l'air. Le sens de ce mouvement de *précession* est le même que celui de la rotation, quand la direction de la résistance de l'air passe entre le centre de gravité et la pointe; il serait de sens contraire si cette résistance était en arrière du centre de gravité.

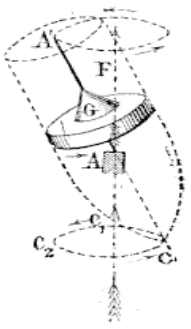


Fig. 11.

Ce phénomène peut être reproduit expérimentalement au moyen d'une toupie (fig. 11). Soit G son centre de gravité, et AA′ l'axe de rotation, qui n'est pas vertical. Si dans cette position on fait tourner rapidement la toupie, elle reçoit en A une force égale à la réaction du point d'appui; et elle se trouve dans des conditions analogues au projectile tournant autour de son axe de figure et recevant sur l'avant de son centre de gravité une poussée oblique. Cette force produit le mouvement de précession : l'axe décrit un cône, et la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pointe A′ trace une circonférence dans le sens du mouvement de rotation. Nous avons indiqué le projectile en ponctué; la résistance de l'air est figurée par une flèche. La toupie vue d'en haut tourne de droite à gauche, comme le projectile vu de l'arrière. Si donc, en se plaçant derrière le canon, on pouvait suivre de l'œil le projectile, on verrait sa pointe décrire un cercle $C C_1 C_2$. Il présente d'abord son flanc droit à la résistance de l'air qui le fait dériver à gauche. Plus tard, c'est le flanc gauche qui sera actionné et il dérivera à droite.

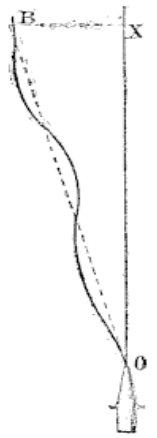


Fig. 12.

Mais à ce moment la résistance de l'air aura beaucoup diminué; le premier effet ne sera donc pas corrigé complètement et la dérivation restera à gauche. Il en résulte que la projection horizontale de la trajectoire est tout entière à gauche de la trace du plan de tir; c'est une courbe sinusoïdale, qui ondule de part et d'autre d'une courbe telle que OB (fig. 12); les ondulations vont en s'allongeant et tendent à se confondre de plus en plus avec la courbe OB.

§ 16. **Dérivation.** — On nomme *dérivation pour une portée déterminée*, la quantité dont le projectile arrivé à son point de chute s'est écarté du plan de tir.

Pour la portée OB, elle est égale à BX. La dérivation étant toujours très petite relativement à la portée, on peut remplacer l'étude de la trajectoire elle-même par celle de sa projection sur le plan de tir.

§ 17. **Nutation.** — Pendant que l'axe du projectile parcourt son cône de précession, il est en outre animé généralement d'un mouvement oscillatoire à périodes plus petites, qui est la *nutation*.

On peut l'observer sur la toupie; en produisant une perturbation dans sa précession, on amène l'extrémité A′ (fig. 11) à décrire au lieu d'un cercle une courbe épicycloïdale. En d'autres termes, ce n'est pas AA′ lui-même qui décrit alors le grand cône de précession, mais c'est l'axe d'un autre cône autour duquel tourne AA′.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ÉTABLISSEMENT DES TABLES DE TIR.

§ 18. **Objet des tables de tir.** — Une bouche à feu comporte une table de tir par projectile et par charge employés. On trouve en tête des tables les conditions de chargement et les valeurs numériques des coefficients employés dans les formules. Chaque table comprend :

1° La table de tir proprement dite, dans laquelle, en regard des portées prises comme argument, on a inscrit les inclinaisons, dérivations, hausses et dérives, écarts moyens en portée, en dérivation, en hauteur, angles de chute, vitesses restantes et durées de trajet; 2° un certain nombre de tableaux donnant la probabilité de tir dans quelques cas spéciaux, et contenant des renseignements utiles pour apporter aux hausses et aux dérives les corrections relatives aux effets du vent et du mouvement relatif du but. Ces indications servent à restreindre les tâtonnements au commencement du tir. Les nombres inscrits dans les tables ne sont pas mathématiquement exacts : ce sont seulement des approximations permettant du premier coup d'éviter de trop grossières erreurs.

§ 19. **Méthode de la commission de Gâvre.** — Nous allons étudier la marche générale suivie à la commission de Gâvre pour établir une table de tir; et nous chercherons à évaluer l'amplitude des différences qu'on peut rencontrer dans la pratique avec les nombres inscrits dans les tables, ce qui nous permettra de voir le degré de confiance qu'on doit attribuer aux indications des tables de tir.

Pour l'établissement d'une table de tir, on mesure expérimentalement : 1° l'angle de relèvement; 2° la vitesse du projectile en deux points de sa trajectoire; 3° sous plusieurs angles convenablement choisis, les éléments suivants : portée, dérivation, durée du trajet. Des résultats obtenus expérimentalement on déduit par le calcul tous les nombres qui doivent être inscrits dans les tables.

§ 20. **Définitions.** — Avant de nous occuper de l'établissement des tables de tir, rappelons d'abord les définitions et les notations en usage à la commission de Gâvre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La *trajectoire* (fig. 13) est la courbe que suit le projectile depuis sa sortie de la pièce jusqu'à son point de chute.

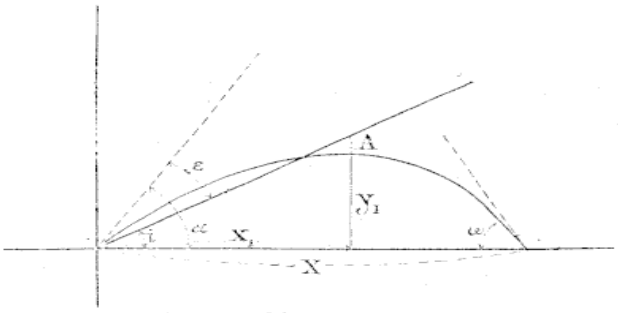


Fig. 13.

La *ligne de tir* est l'axe de la pièce prolongé indéfiniment.

L'*angle de tir*, désigné par i, est l'angle que fait la ligne de tiravec l'horizontale. — Son plan est le *plan de tir*.

L'*angle de départ*, désigné par α, est l'angle que fait la direction de la vitesse initiale avec l'horizon. La différence de ces deux angles $\alpha - i$ ou $i - \alpha$ est l'angle de *relèvement* ε.

Le *point de chute* est le point où le projectile rencontre le plan horizontal passant par la bouche de la pièce.

L'*angle de chute* ω est l'angle que fait avec l'horizontale la tangente à la courbe au point de chute.

La *ligne de site* est la droite passant par le centre de la bouche de la pièce et le but; le *plan de site*, le plan contenant cette ligne et normale au plan de tir.

La *portée* X est la distance de la bouche de la pièce au point de chute.

V_0 désigne la *vitesse initiale*, V la *vitesse restante* en un point quelconque.

T est la *durée du trajet* en secondes.

H représente la *hauteur du jet* ou *flèche* de la trajectoire; c'est l'ordonnée maximum, qu'on appelle aussi Y_1; l'abscisse correspondante est X_1.

L'*abaissement* A est, sur une ordonnée prolongée jusqu'à la ligne de tir, la longueur comprise entre cette ligne et la courbe.

La *tension* de la trajectoire est le rapport de l'ordonnée maximum à la portée totale.

Quand on tire un certain nombre de projectiles sous un même angle et dans les mêmes conditions, les trajectoires ne se confondent pas, elles forment un faisceau. Si l'on coupe ce faisceau par une suite de plans verticaux perpendiculaires au plan de tir, on obtient une série de points. Si dans chaque plan on prend le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

point moyen de chaque série et qu'on réunisse ces points moyens par une courbe, cette courbe est la *trajectoire moyenne*.

§ 21. **Notations adoptées.** — La commission de Gâvre a adopté pour le calcul des tables de tir les notations suivantes :

g	accélération due à la pesanteur,
π	poids de la charge exprimée en kilogrammes,
p	poids du projectile id.
a	diamètre du projectile en décimètres,
A	diamètre de l'âme id.
L	longueur de l'âme id.
d	diamètre de la chambre à poudre id.
C	volume total de l'âme en décimètres cubes,
c	volume de la charge id.
Δ	densité du chargement, exprimée par le rapport $\frac{\pi}{c}$.

§ 22. **Angle de relèvement.** — C'est, comme nous l'avons vu, la différence entre l'angle de vitesse initiale du projectile et l'angle de tir. Cet angle peut être nul, positif ou négatif; il est dû au mouvement de recul de la pièce, qui commence à se produire avant la sortie du boulet. Il en résulte que l'angle de départ n'est pas égal à l'inclinaison de la pièce; il varie souvent d'une manière très appréciable quand on change la pièce d'affût. Pour le mesurer, on met un écran à une certaine distance de la bouche O de la pièce (fig. 14); on marque le point A où l'axe du canon prolongé rencontre cet écran, et quand le coup est parti, on cherche la distance du centre du trou B à la ligne horizontale OC. Des deux triangles connus on déduit facilement les angles en O et par suite ε.

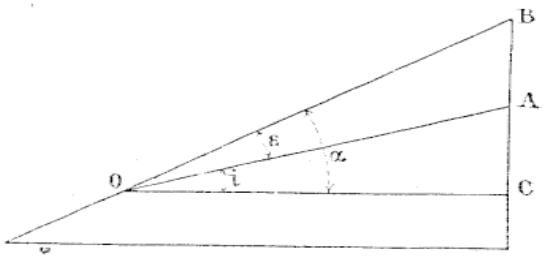


Fig. 14.

L'angle inscrit dans la table est celui qu'on a mesuré avec le système de canons et d'affûts employés à Gâvre pour les essais. Comme ces tirs se font d'ordinaire sur affûts d'expérience, l'angle inscrit ne convient généralement pas pour les tirs exécutés avec les affûts de service. Il se glisse ainsi, aux petites distances, une erreur de quelques minutes dont l'importance sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les portées est d'autant plus grande que la vitesse initiale est plus forte.

Les angles de relèvement extrêmes constatés pour les canons de bord sont compris entre — 4′ pour le canon de 34 centimètres, et + 14′ pour le canon de 10 centimètres modèle 1875 M. Ils s'élèvent quelquefois jusqu'à + 20′ et + 25′ pour les canons de petit calibre sur affût de campagne.

§ 23. **Angle additionnel**. — Le terrain au point de chute C peut être au-dessous du plan horizontal OC′ qui contient l'origine de la trajectoire (fig. 15). Soit OC la portée non horizontale ainsi obtenue. On admet que la trajectoire OMC eût été la même si OC avait été horizontal; mais pour avoir dans ce cas l'angle réel de départ, il faut ajouter à l'angle α de l'expérience un angle $C'OC = \alpha'$, dit angle *additionnel*, dont la valeur est donnée par $\operatorname{tg}\alpha' = \frac{CC'}{OC}$, CC′ étant la différence de niveau du point de chute et de la bouche du canon.

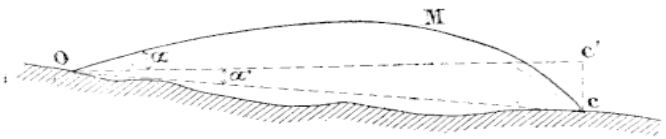


Fig. 15.

Ainsi on admet que la trajectoire est une courbe rigide liée invariablement au canon, et pouvant, sans changer de forme, se relever ou s'abaisser avec lui d'un angle α'.

§ 24. **Vitesse initiale**. — Pour la vitesse initiale on a établi deux formules empiriques. La première est

$$(1) \qquad V = M \frac{\pi^{\frac{5}{8}} C^{\frac{1}{8}}}{p^{\frac{4}{10}} c^{\frac{1}{4}} a^{\frac{3}{10}}}.$$

En prenant M = 640, cette formule s'applique assez bien aux canons modèles 70 et 75.

Pour les canons modifiés et les nouvelles conditions de chargement, on emploie la formule

$$(2) \qquad V = M \frac{\pi^{\frac{3}{8}} \Delta^{\frac{1}{4}} u^{\frac{1}{4}}}{p^{\frac{4}{10}} d^{\frac{1}{6}}},$$

u désigne la distance parcourue dans l'âme par le projectile. M varie peu d'un calibre à l'autre; sa valeur moyenne est égale à 430.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 25. **Trajectoire.** — L'équation de la trajectoire dans l'air est

$$y = x \operatorname{tg} \alpha - \frac{g x^2}{2 \cos^2 \alpha} \left(\frac{1}{V^2} + K x \right), \tag{3}$$

K est un coefficient dépendant de la résistance de l'air.

§ 26. **Portée.** — Si dans la formule (3) l'on fait $y = 0$, on obtient :

$$\frac{\sin 2\alpha}{g x} = \frac{1}{V^2} + K x \ . \tag{4}$$

Telle est la relation qui relie les portées aux angles de projection. Pour chaque tir exécuté sous un angle différent, on connaît α, x, V, g ; on peut donc calculer K. On a l'habitude, pour n'avoir pas à écrire de nombres trop petits, de multiplier par 10^{10} les deux membres de la formule (4) et ce sont les valeurs de 10^{10} K qui figurent dans les tables de tir.

Quand les variations de valeurs de K sont faibles, ou bien ne paraissent suivre aucune loi par rapport aux angles de tir, on prend pour K la moyenne des valeurs trouvées ; l'équation (3) suffit alors pour représenter la trajectoire. Quand les valeurs de K augmentent ou diminuent avec l'angle de tir, les tables donnent une formule empirique qui sert à calculer cette quantité en fonction de l'angle de départ ou de la portée. Cette formule et l'équation (3) permettent de déterminer la trajectoire.

§ 27. **Flèche de la trajectoire.** — Partant de l'équation (3) qui représente la trajectoire, on peut calculer les coordonnées X_1 et Y_1 du sommet de la trajectoire. Ce calcul est rendu plus simple par les formules suivantes, où X représente la portée de la trajectoire. On pose

$$z = K V^2 X,$$

et

$$\rho = \frac{1}{2} + \frac{z}{2 + 3z}.$$

On arrive à

$$X_1 = \rho X,$$

et

$$Y_1 = X_1 \operatorname{tg} \alpha \frac{1 + 2\rho z}{2 + 3\rho z}.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 28. **Angle de chute.** — Soit ω l'angle de chute, il est donné par la formule

$$\operatorname{tg}\omega = \operatorname{tg}\alpha\left(1 + \frac{z}{1+z}\right).$$

§ 29. **Durée du trajet.** — Les durées de trajet sont représentées empiriquement par

$$T = N\sqrt{X \operatorname{tg}\alpha}.$$

Cette formule exprime que la vitesse de la projection horizontale du boulet est constante dans l'air comme dans le vide. Cette loi est à peu près exacte. Les tables donnent toujours la valeur moyenne de N.

§ 30. **Mesure des portées et des dérivations.** — La dérivation est la distance dont le point de chute du projectile s'écarte en moyenne du plan de tir. Pour l'évaluer, on se sert de lignes jalonnées qui partent de la pièce. Après chaque coup, on mesure la portée et la dérivation, c'est-à-dire les coordonnées du point de chute rapportées à la ligne jalonnée qui représente le plan de tir. Pour une série de coups tirés sous le même angle, la moyenne des portées et des dérivations détermine le *point de chute moyen*. La trajectoire moyenne est par définition celle d'un projectile qui aurait rencontré le sol au point de chute moyen. Cette trajectoire est la plus probable ; c'est celle dont on calcule les éléments tels qu'ils sont donnés par les tables de tir.

Pour chaque coup isolé, on appelle *déviation latérale* ou *écart en direction*, la différence, quel qu'en soit le signe, entre sa dérivation et la dérivation moyenne. On obtient de même la *déviation longitudinale* ou *écart en portée* par la comparaison de la portée à la portée moyenne.

Quand on tire une série de coups sous le même angle de départ, la moyenne arithmétique des écarts en direction est la *déviation latérale moyenne q ;* de même la moyenne des écarts en portée est la *déviation longitudinale moyenne Q*. Ces deux quantités comparées à la portée donnent une idée exacte de la justesse de la bouche à feu ; elles servent de base aux calculs de la probabilité du tir. Elles varient avec l'angle de départ et la portée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La loi de variation est exprimée empiriquement par les formules :

$$q^2 = \frac{X^2}{\cos^2 \alpha}(a + b \sin^2 \alpha),$$
$$Q^2 = c \cos^2 2\alpha + d X^4.$$

les constantes a et b sont toujours données par les tables de tir.

§ 31. **Écarts en hauteur.** — Supposons un écran vertical OC (fig. 16) passant par le point de chute O. Soient $M_1, M_2, M_3, \ldots$, les points de chute des différents coups de la série ; $C_1, C_2, C_3, \ldots$, les points où la cible est rencontrée ; $OM_1, OM_2, \ldots$, sont les écarts en portée, $OC_1, OC_2, \ldots$, les écarts en hauteur. On considère tous les arcs de trajectoires $C_1 M_1$, $C_2 M_2 \ldots$, comme rectilignes et ayant même inclinaison, même angle de chute ω. Par suite les écarts en hauteurs sont égaux à :

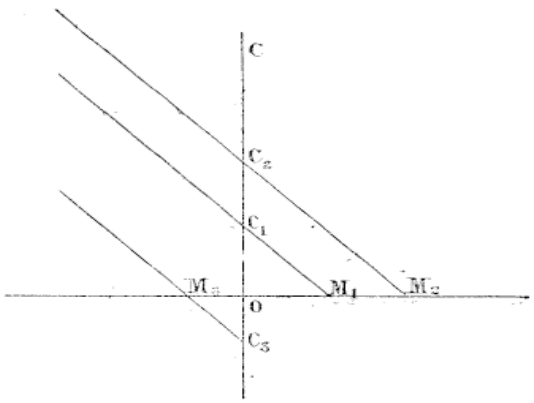


Fig. 16.

$$OM_1 \operatorname{tg} \omega, \quad OM_2 \operatorname{tg} \omega, \quad \ldots$$

L'écart moyen en hauteur Q_v sera donc donné par

$$Q_v = \frac{OM_1 + OM_2 + \ldots}{n} \operatorname{tg} \omega,$$
$$Q_v = Q \operatorname{tg} \omega.$$

POINTAGE ET TIR A LA MER.

§ 32. **Appareils de pointage.** — A la bouche du canon la trajectoire est tangente à la ligne de tir (abstraction faite de l'angle de relèvement) ; et elle va en s'abaissant à mesure que la distance augmente. En outre les projectiles ogivaux employés dans la marine, tournant de droite à gauche, sont déviés hors du plan de tir vers la gauche. Il faut donc amener la ligne de tir au-dessus du but d'une quantité égale à l'abaissement de la trajec-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

toire qui correspond à la distance où le but est placé ; il faut en outre déplacer le plan de tir à droite d'une quantité égale à la dérivation que le projectile subit à cette distance.

L'appareil de pointage permet de donner au canon l'inclinaison voulue tout en visant directement le but. Il comprend le *guidon de mire* et la *hausse-instrument*.

Le guidon est vissé à poste fixe dans la frette-tourillon.

La hausse est placée à la culasse ; elle porte le cran de mire, qui est mobile dans le sens vertical et dans le sens horizontal, et sert à donner à la ligne de visée ou de mire la direction nécessaire pour que le but soit atteint. Il faut, pour pointer un canon, que la ligne allant de l'œil du tireur au but, passe par le sommet du guidon et le cran de mire. — La ligne de mire est dite *naturelle* quand elle est parallèle à l'axe de la pièce.

Soit AOB (fig. 17) la projection verticale de la trajectoire, AM la ligne de tir, A le guidon, E le cran de mire et B le but ; BM est la quantité dont la trajectoire s'est abaissée pour la distance AB. La ligne de visée passe par les trois points E A B ; et EC est la *hausse géométrique*, c'est la quantité dont on a dû élever le cran de mire. — La dite ligne rencontre d'ordinaire la trajectoire en deux points, dont le plus éloigné se nomme *but en blanc*.

Fig. 17.

La figure 18 représentant le plan horizontal, AB est la trace du plan de tir, BD est la dérivation correspondant à la distance AB ; pour atteindre le point B, il faudrait donc diriger le plan de tir suivant H′D′, de telle sorte que BD′ = BD. La ligne de visée sera OAB et OH′ nous donne la quantité dont il faut déplacer le cran de mire dans le sens horizontal : c'est la *dérive*.

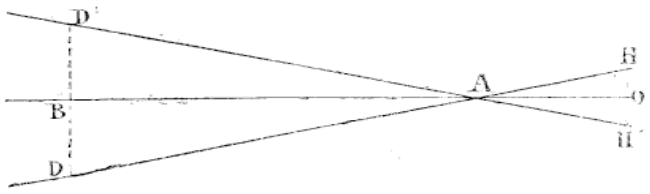


Fig. 18.

Quand une pièce tire avec diverses charges, la hausse et la dérive varient évidemment avec celles-ci. Le tir à la plus grande charge, et par suite à trajectoire tendue, s'appelle tir de *plein*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fouet. Cette expression s'emploie aussi pour distinguer le tir direct d'avec le tir en bombe ou à ricochets.

§ 33. **Calcul des hausses et des dérives.** — Pour chaque distance la hausse et la dérive se calculent en fonction des coordonnées du point moyen. Soient, en effet, (fig. 19) : X une portée moyenne, D la dérivation correspondante, i l'inclinaison à donner au canon pour obtenir X. Désignons par l la distance $f'H_0$ du guidon au cran de mire, et par y la hausse H_0h' ; on a

$$y = l \operatorname{tg} i.$$

Pour calculer la dérive HM ou x, nous avons dans les deux triangles semblables fPC, fMH :

$$\frac{x}{fM} = \frac{D}{X};$$

or

$$fM = f'h' = \frac{l}{\cos i};$$

d'où

$$x = \frac{D\,l}{X \cos i}$$

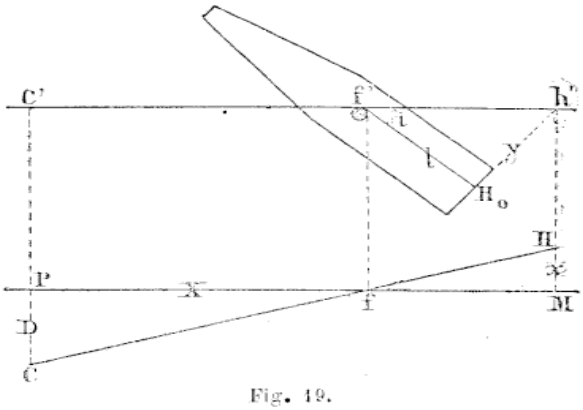


Fig. 19.

§ 34. **Hausse-instrument.** — La *hausse* (fig. 20,) se compose de :

1° Un *curseur*, règle en acier, portant des graduations sur une ou plusieurs faces ;

2° Une *traverse* en acier, fixée à l'extrémité du curseur, et munie également de graduations ;

3° Une pièce appelée *chapeau mobile* portant à sa partie supérieure une entaille, qui est le cran de mire mobile. Le chapeau se meut sur la traverse à frottement doux ; une vis de pression permet de le fixer à un point quelconque de sa course.

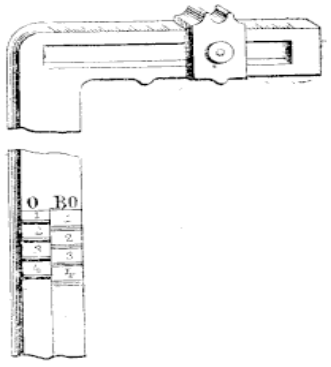


Fig. 20.

La hausse est *droite* ou *inclinée*, suivant que le curseur est perpendiculaire ou oblique à l'axe des tourillons. Dans l'un et l'autre cas la traverse est toujours parallèle à l'axe des tourillons.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La face supérieure de la traverse des deux espèces de hausses porte, de chaque côté du cran de mire mobile placé à sa position normale, une graduation en millimètres ou en doubles millimètres destinée à corriger le tir des causes connues qui influencent sa justesse. La traverse de la hausse droite porte en outre sur la face postérieure une graduation en centaines de mètres, qui sert à corriger le tir de la dérivation. Les hausses inclinées corrigent elles-mêmes la dérivation par leur inclinaison.

Il existe différents systèmes pour adapter les hausses aux canons.

Les hausses de gauche glissent dans une boite fixée à la pièce contre la tranche de culasse ; un ressort pressé par une vis sert à les fixer dans une position quelconque.

Les hausses de droite pénètrent dans un trou percé à travers une frette du canon.

Les déplacements du chapeau se font à la main ; dans la nouvelle hausse droite, ils s'opèrent au moyen d'un petit pignon engrenant dans une crémaillère taillée au bas de la traverse.

Quand le curseur et le chapeau sont tous deux à zéro, la ligne de mire est parallèle à l'axe de la pièce.

§ 35. **Guidon de mire.** — C'est une pièce en acier noirci ayant la forme d'un cône à pointe émoussée ; il est fixé invariablement sur la pièce à hauteur des tourillons, et complète le système de pointage, placé du côté de la dérivation (à gauche pour les pièces de marine), afin d'empêcher les lignes de mire d'être interceptées par la volée.

Les canons de gros calibre en réduit sont en outre munis d'une petite hausse de droite, qui permet de viser encore le but à atteindre dans le pointage extrême, alors que la ligne de mire de gauche est masquée par le côté du sabord.

Les canons modèles 1864, 1866 et 1870, portent aussi une ligne de mire médiane déterminée par un cran sur la tranche de culasse et une petite masse de mire placée entre les tourillons. Cette ligne de mire, parallèle à l'axe, sert pour les tirs très rapprochés.

§ 36. **Causes d'irrégularité du tir.** — Parmi ces causes il en est de fortuites, comme les petites variations dans la vitesse

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

initiale, dans l'angle de relèvement, dans la résistance de l'air, laquelle change un peu avec la température et la pression barométrique, etc..

Il existe aussi des causes permanentes qui subsistent d'un coup à l'autre, et produisent des effets susceptibles d'être corrigés. Dans cette catégorie se rangent les effets du vent, de la vitesse du canon et du but, les erreurs de hausse et celles qui proviennent de l'inclinaison de l'axe des tourillons.

§ 37. **Corrections relatives au vent.** — Dans le tir d'expérience, les dérivations et les portées mesurées sur le terrain subissent au moyen de formules spéciales des corrections relatives aux effets du vent. Ces corrections, dans les opérations de polygone, ne sont admises que quand la vitesse du vent ne dépasse pas 10 à 12 mètres par seconde.

Les corrections dues à la vitesse d'un navire en marche sont basées sur des considérations analogues, et les mêmes formules sont applicables.

1° Supposons un vaisseau naviguant en calme plat, et tirant droit en belle. Soient : V la vitesse initiale des tables, W_1 la vitesse du navire, X la portée, T le temps de trajet, α l'angle de départ. La dérivation Δ produite sur le boulet par la vitesse W_1 est donnée par

$$\Delta = \frac{XW_1}{V\cos\alpha}.$$

C'est au moyen de cette formule que sont calculés dans les tables de tir les écarts en direction dus à des vitesses de 5, 10 et 15 nœuds. Les dérives correspondantes sont inscrites en regard.

Si nous supposons le canon immobile, la dérivation δ produite sur le boulet par un vent normal au plan de tir ayant une vitesse W_1 est exprimée par

$$\delta = W_1\left(T - \frac{X}{V\cos\alpha}\right).$$

Ces corrections sont généralement données de 1.000 en 1.000 mètres et pour une vitesse de vent de 4, 8, 12 et 16 mètres ; les dérives correspondant à ces dérivations sont également inscrites en regard.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° Supposons un bâtiment naviguant en calme plat et tirant dans l'axe, W étant la vitesse du navire (fig. 21), et les autres annotations étant les mêmes que ci-dessus. Le projectile est animé de deux vitesses : l'une BC = V suivant l'axe du canon, et faisant avec l'horizon un angle α ; l'autre horizontale et égale à W. La vitesse résultante V_1 est la diagonale du parallélogramme. Cette vitesse V_1 et l'angle α_1 qu'elle fait avec l'horizontale sont donnés par :

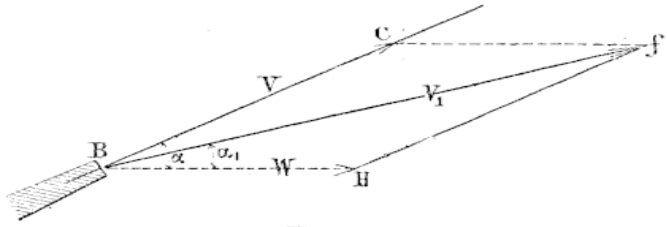


Fig. 21.

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{1 \pm \frac{W}{V \cos \alpha}}; \qquad V_1 = V \pm W \cos \alpha.$$

Le signe + correspond au tir en chasse, le signe — au tir en retraite.

Quel que soit d'ailleurs le cas, le boulet considéré est dans les mêmes conditions que s'il était lancé avec une vitesse initiale V_1 sous un angle de départ α_1. Soit X_1 la portée correspondante ; la différence $X_1 - X$ est la variation correspondante de portée.

Dans la pratique du tir à la mer, cette correction des effets de la vitesse du navire pour le tir dans l'axe est insignifiante, et les tables ne fournissent aucune indication directe permettant de l'exécuter.

Supposons maintenant le canon immobile avec vent debout dans l'axe ; la différence de portée due à ce vent de vitesse W est donnée par

$$WT - (X_1 - X).$$

La différence pour le tir avec vent arrière est

$$WT - (X - X_1).$$

Dans la pratique du tir à la mer, ces corrections sont négligeables ; mais elles acquièrent une réelle importance dans le tir au polygone, lorsqu'il s'agit de déterminer la valeur de K.

Supposons en effet un tir au polygone avec vent debout de vitesse W. Si X′ est la portée mesurée sur le terrain, V et α la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vitesse et l'angle de départ naturels, X la portée naturelle, on a :

$$X' = X - [WT - (X_1 - X)],$$
$$X' = X_1 - WT,$$
$$X_1 = X' + WT.$$

Si l'on met cette valeur dans l'équation des portées, on obtient

$$\frac{\sin 2\alpha_1}{g X_1} = \frac{1}{V^2} + K X_1,$$

d'où l'on tire la valeur de K.

Nous avons supposé dans ce qui précède le vent normal ou parallèle au plan de tir. Si sa direction est quelconque, on prend ses deux composantes, et l'on se trouve ramené aux cas précédents.

Les tables de tir donnent les quantités en millimètres dont il faut déplacer le chapeau mobile du côté d'où vient le vent pour corriger l'effet de la composante normale au plan de tir, et le nombre de millimètres qu'il faut ajouter algébriquement à la hausse verticale, suivant le sens du vent, pour tenir compte de la composante parallèle au plan de tir.

§ 38. **Mobilité du but.** — Pour corriger la déviation produite par la vitesse latérale du but, il faut déplacer le chapeau mobile sur la traverse *dans le sens de cette vitesse*.

Si le but s'éloigne dans le plan de tir, il faut augmenter la hausse ; la diminuer, s'il se rapproche.

Si le but se meut dans un plan oblique au plan de tir, on apprécie la grandeur des composantes perpendiculaires et parallèles au plan de tir.

En résumé, pour le placement du chapeau mobile sur la traverse de la hausse, on combine les corrections relatives au vent, à la vitesse du navire, à celle du but, en tenant compte, s'il y a lieu, de la valeur des composantes parallèles et perpendiculaires au plan de tir. L'expérience viendra dans tous les cas puissamment en aide à toutes les données du calcul.

§ 39. **Influence de l'inclinaison de l'axe des tourillons.** — Cette cause d'erreur peut être considérable avec

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les pièces de chasse et de retraite ; on ne s'en garantit pratiquement qu'en faisant feu quand le navire est droit.

§ 40. **Exécution des feux**. — Dans la plupart des cas, le chef de pièce ne voit par le sabord qu'une portion très limitée de l'horizon ; c'est donc au commandant qu'il appartient de lui désigner les points à viser, les corrections de la hausse, les projectiles à employer. Ces indications sont transmises au chef de pièce avant que le but ne soit devenu visible pour lui ; et le pointage préliminaire s'exécute au moyen de repères intérieurs.

Les circulaires arrière sont graduées en degrés, et le châssis porte un repère qu'il suffit d'amener en regard du degré correspondant à l'angle de chasse ou de retraite pour obtenir le pointage voulu. La distance est toujours indiquée par le commandant ; et le chef de pièce n'a plus ensuite qu'à rectifier son pointage dès que le but est visible pour lui.

De son côté, le commandant manœuvre pour s'approcher du but à la distance qu'il a choisie ; il indique s'il viendra de l'avant ou à l'arrière, et prévient du moment où le but va paraître.

Toutes les pièces d'une batterie ou d'une bordée, pointées à l'avance comme il vient d'être dit et d'après des indications identiques, ont leurs plans de tir sensiblement parallèles ; et le plus souvent le feu qui suivra sera un *feu à volonté* ou un *feu de* chef dont l'exécution sera plus ou moins laissée à l'initiative du *file*, de pièce.

Si le commandant se réserve de déterminer le moment précis du feu, même pour une seule pièce *le feu est dit commandé ;* et le chef de pièce n'a plus qu'un rôle passif pour son exécution. Il donne à son canon la direction et l'inclinaison voulues par le commandant ; et, sans se préoccuper de la rectification du pointage, il attend le signal du feu.

Avec la vitesse des navires actuels, le but ne reste dans le champ de tir que pendant un espace de temps fort limité. Ainsi, en admettant un champ de tir de 50°, deux navires armés de canons de 27^{cm} et défilant à contre-bord avec une vitesse de 12 nœuds chacun ne pourraient échanger plus d'un coup de leurs canons qu'à une distance supérieure à 12 encâblures : le chargement et le pointage de ces pièces effectués dans les meilleures conditions exigeant au moins trois minutes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C'est bien dans de telles circonstances que la mise de feu *électrique* devra être appliquée. Elle sera plus utile encore lorsque le commandant voudra faire *converger* la totalité ou une partie de ses pièces sur un point déterminé.

Dans le cas du tir convergent, les canons visant le même but ne sont pas parallèles ; et l'angle de chacun varie à la fois avec la distance du but et la position que la pièce occupe par rapport au milieu du navire. Une planchette graduée pour chaque pièce donne immédiatement et sans calcul la direction du pointage.

De son côté, le commandant a à sa disposition un instrument indicateur, qui lui permet d'apprécier le moment où le but passe au point de convergence et où le feu doit être commandé.

Malgré la diminution du nombre des canons sur les nouveaux navires de combat, les feux convergents n'ont pas perdu de leur importance. Dans l'hypothèse de passages à contre-bord à petite distance, il est permis d'admettre que la concentration du feu sur un même point peut produire un résultat décisif, même avec des canons dont la puissance individuelle serait inférieure à la résistance de la muraille ennemie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DEUXIÈME PARTIE [1]

AGENTS EXPLOSIFS

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES EXPLOSIFS

§ 41. — Les explosifs peuvent se ranger en deux catégories :

1° Ceux qui sont formés par le mélange mécanique de plusieurs substances qui, en se combinant ensuite, donnent naissance à des composés gazeux. La poudre à canon en est le véritable type.

2° Ceux dans lesquels on a combiné ensemble par une réaction chimique des éléments qui, en se dissociant, forment de nouveaux composés. Dans cette classe se rangent le fulmicoton, la nitroglycérine, le fulminate de mercure, etc.

Quelle que soit la catégorie à laquelle un explosif appartient, il faut avant tout qu'il remplisse les conditions suivantes : produire une grande quantité de gaz et par suite une forte pression ; donner lieu à une température très élevée ; enfin l'opération doit se faire dans un intervalle de temps très court.

C'est que la pression ne suffit pas pour produire une explosion. La pression seule donnera lieu à une rupture, mais ne fera pas voler au loin les éclats de l'enveloppe. Pour que ce fait se produise, il faut avoir une provision de travail sous forme de chaleur latente.

Voilà donc deux conditions indispensables dans un explosif : la pression gazeuse et la chaleur disponible. Aussi, pour comparer les puissances explosives de plusieurs corps, on peut, comme l'a fait M. Berthelot, multiplier les volumes de gaz engendrés par le

(1) Nous avons consulté, pour cette partie, une importante étude de M. le capitaine d'artillerie C. Charnoz.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nombre de calories produites dans la réaction ; on obtient ainsi les caractéristiques de ces substances.

Mais, comme nous le disions plus haut, en outre de l'énergie disponible, il existe un élément qui joue un rôle considérable, c'est le temps nécessaire à la production de cette énergie. Dans un explosif la réaction doit être instantanée ; sinon une grande partie de la chaleur se perdra par rayonnement et par conductibilité, et l'effet, au lieu d'être brusque, se fera sentir graduellement. Ainsi le pyroxyle, qui dégage à peu près le même nombre de calories que la poudre, lui est supérieur à cause de la rapidité avec laquelle il se décompose. L'iodure d'azote, qui n'a aucune application pratique, est très instable ; il suffit pour le faire détoner de le toucher avec une barbe de plume. L'explosion est absolument instantanée, parce que les éléments constituants, l'iode et l'azote, se séparent seulement sans former d'action secondaire. Dans la poudre au contraire les éléments constituants se combinent pour engendrer des composés, et la transformation est nécessairement plus lente.

Il résulte de là que l'iodure d'azote en très faible quantité brisera ou écrasera à l'air libre les corps qui seront en contact avec lui, tandis qu'une quantité de poudre notablement plus grande placée dans les mêmes conditions ne produira sur eux aucun effet.

Dans le premier cas, en présence d'une action d'une instantanéité presque complète, la résistance de l'air sera très grande ; l'air agira comme paroi fixe, et l'explosion aura lieu comme en vase clos.

Dans le second cas, l'air aura le temps de se déplacer, de se comprimer ; les gaz pouvant suivre la voie de moindre résistance le refouleront, et les corps environnants n'éprouveront que peu de dommages.

Quand on examine la composition des explosifs, on est frappé d'y trouver toujours l'azote. Il semble donc que la présence de ce gaz soit nécessaire dans un explosif. C'est que les composés azotés sont *endothermiques* pour se former ils absorbent de la chaleur au lieu d'en produire ; conséquemment ils exigent pour se constituer une dépense de travail. Si donc l'équilibre factice qui maintient leurs éléments en présence vient à se rompre pour une cause quelconque, ces éléments portés l'un vers l'autre par une grande affinité se combinent entre eux avec dégagement de chaleur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La cause extérieure qui produit la séparation de ces éléments agit parfois d'une façon fort remarquable. Nous avons cité plus haut l'iodure d'azote détonant sous l'action d'une barbe de plume. Le chlorure d'azote détone quand on le dépose sur une corde à violon qu'on fait vibrer. Une charge de fulmicoton en détonant produit l'explosion de charges semblables placées à proximité, tandis qu'elle ne fait aucun effet sur la nitroglycérine. Une cartouche de dynamite simplement allumée brûlera sans choc ; enflammée par une capsule, elle fera explosion. Il semble qu'il existe là une sorte d'effet de synchronisme analogue à ceux qu'on trouve dans les vibrations d'acoustique. Nous reviendrons plus tard sur ces questions.

Nous allons passer en revue les différents explosifs en usage, leurs modes de fabrication et leurs propriétés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2E PTIE. — CHAPITRE I

POUDRE

DIFFÉRENTES ESPÈCES DE POUDRES

§ 42. **Classification des poudres.** — La poudre, dont l'usage ne devint général qu'au commencement du XVIe siècle, est un mélange intime de salpêtre, de soufre et de charbon. Dans la déflagration de la poudre, le salpêtre joue le rôle de corps oxydant ; le soufre et le charbon celui de corps combustibles.

Les détails du phénomène de la conflagration d'une charge de poudre ont été rendus sensibles par une longue série d'expériences. Parmi les plus récentes et les plus remarquables il faut mentionner celles de MM. Noble et Abel. Ils ont fait ressortir la faible influence exercée sur l'action de la poudre par des variations notables dans les proportions des composants, tandis que des modifications apportées dans les caractères physiques des grains et dans le mode d'emploi de la poudre ont une importance considérable.

La *vitesse d'inflammation* varie avec la forme du grain, avec sa grosseur et sa porosité.

La *vitesse de combustion* dépend de ces divers éléments ; elle est influencée aussi par la densité absolue du grain et la tension du milieu dans lequel il brûle.

La vitesse d'inflammation est très grande par rapport à celle de combustion ; cependant, si les grains sont fins et la poudre suffisamment tassée, les valeurs des deux vitesses tendent à devenir égales ; et on dit alors que la *poudre est vive*.

Si au contraire le grain est gros et dense, le rapport des vitesses s'accroît, et la *poudre est dite lente*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans le cas où, toutes choses égales d'ailleurs, le grain est très poreux, les deux vitesses d'inflammation et de combustion deviennent très rapides, et la *poudre est brisante*.

On comprend dès lors que, si l'on veut produire un effet de *choc* (comme dans un fourneau de mine ou un projectile creux), on emploiera cette dernière poudre.

Dans les armes portatives ou les canons à âme courte (ancienne artillerie lisse), on fera usage de poudres vives.

Si l'on veut enfin obtenir avec les gaz de la poudre une action *progressive*, on aura recours aux poudres lentes.

§ 43. **Poudres appropriées aux calibres. — Recherches.** — L'emploi des poudres *progressives* est devenu une nécessité pour l'artillerie rayée moderne, qui lance des projectiles lourds, offrant au départ, par leurs tenons, ceintures ou chemises-enveloppes, une résistance qui n'existait pas avec les boulets ronds d'autrefois.

Le *degré de progressivité* de la poudre employée devra varier avec le modèle de la bouche à feu et, dans un même modèle, avec le calibre.

Toutes proportions gardées, si l'on charge avec la même poudre deux canons géométriquement semblables à leur intérieur, mais de calibres différents, rien ne sera changé pour l'émission des gaz au moment initial de l'explosion ; mais, dès que le projectile aura commencé à se déplacer, il n'en sera plus ainsi. Pour le même déplacement du projectile dans les deux pièces, le rapport du volume engendré par ce déplacement au volume occupé par la charge, c'est-à-dire au volume de la *chambre*, variera en raison inverse du calibre. Les gaz se développant dans un espace plus restreint dans le plus gros des deux calibres, y atteindront une pression plus considérable.

Il y a donc, pour chaque volume d'âme, une poudre qui lui est spécialement *appropriée*, c'est-à-dire qui utilise le mieux la résistance de la bouche à feu, en faisant produire au projectile l'effet maximum.

C'est à la recherche de ces divers types de poudres qu'on s'est attaché depuis la création de l'artillerie nouvelle.

La poudre *du Ripault*, qui servait pour l'artillerie lisse et les premiers canons rayés, était une poudre *vive*. On demanda la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

solution du problème des poudres *progressives* aux poudres *prismatiques* employées en Russie et en Allemagne. On essaya sans plus de succès des poudres à couches concentriques de densité variable, des poudres comprimées, etc....

La poudre belge de Wetteren fut adoptée provisoirement, pendant qu'on poursuivait les recherches en France.

M. le capitaine d'artillerie Castan finit par établir que la progressivité peut être obtenue avec la poudre ordinaire, si on la constitue en grains homogènes et d'une dureté telle qu'ils ne soient ni déformés ni brisés dans la combustion, et si l'on donne à ces grains une dimension minimum égale, afin qu'ils brûlent dans des temps égaux.

Les principes posés par M. Castan prévalurent. En conséquence on substitue, dans nos poudreries, au procédé des pilons rapide et peu coûteux, le système des meules maintenant réglementaire ; et l'on découpe les grains dans des galettes de forte densité (1,8 environ) (*), et présentant une épaisseur constante. On a adopté pour les grains la forme parallélipipédique, comme régularisant le mieux l'émission des gaz durant la combustion.

§ 44. **Densité de chargement.** — Le développement des gaz ne dépend pas seulement de la constitution du grain et de sa forme ; il est aussi fonction du volume laissé libre autour de la charge dans la chambre à poudre, puisque ce volume, en influant sur la pression produite par les premiers gaz développés, réagit par cela même sur la vitesse de combustion.

Il est donc indispensable de faire entrer en ligne de compte non seulement la nature de la charge, mais encore le rapport du volume qu'elle occupe au volume de la chambre à poudre. Ce rapport s'appelle la *densité de chargement*.

Avec une même quantité de poudre, l'agrandissement du volume occupé par la charge produit une diminution dans les vitesses et les pressions. D'autre part, l'agrandissement du volume permet l'emploi de charges plus fortes. Or l'analyse apprend que, si l'on fait varier simultanément et en sens inverse la charge

(*) La densité (1,8) du grain est la *densité réelle*, qui s'évalue en déterminant le rapport du poids des grains à leur volume, abstraction faite des interstices. Il y a lieu de la distinguer de la *densité gravimétrique*, que l'on obtient en pesant un certain volume de poudre non tassée, c'est-à-dire sans tenir compte des vides existant entre les grains.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de poudre et la densité de chargement, on conserve la même pression maximum, tandis que la force vive imprimée au projectile s'accroit.

En résumé, il résulte de là, qu'en choisissant convenablement la poudre pour une bouche à feu donnée et en la faisant brûler dans un *espace approprié à sa qualité*, on peut augmenter les charges tout en se maintenant dans les limites de pression déterminées.

§ 45. **Dimensions des chambres.** — Ce résultat confirmé par toutes les expériences est des plus remarquables. Il a amené l'adoption de chambres spacieuses, en rapport avec l'augmentation successive des charges et avec une densité de chargement variant de 0,800 à 0,996 pour les pièces de l'artillerie 70, qui emploient des poudres lentes, à gros grains, de fabrication nouvelle.

§ 46. **Progression constante des vitesses initiales.** La conséquence immédiate de ces principes a été de faire suivre à la *vitesse initiale*, et partant à la puissance de la bouche à feu, une marche ascendante. Cette vitesse était de 340 mètres dans les premiers modèles (64-65); elle est arrivée à 440 mètres dans le modèle 70, puis à 500 mètres dans les pièces des modèles 70 M et 75; elle atteindra 600^{m} environ dans les modèles les plus récents.

§ 47. **Longueur d'âme.** — Pour que l'utilisation d'une charge de poudre soit complète, il faut que cette charge soit entièrement consumée lorsque le projectile quitte la bouche de la pièce. Il y a donc une relation intime entre la *longueur de l'âme* et la nature de la poudre; et, dans les limites de la pratique, il y a avantage à augmenter cette longueur avec une poudre lente appropriée.

C'est ainsi qu'on est arrivé, dans les nouveaux types (79 et 81), à des longueurs de 26 et 28 calibres, tandis que dans l'artillerie 64-65 elles variaient seulement de 13 à 19 calibres.

§ 48. **Diverses espèces de poudres.** — Les poudres se distinguent, suivant leur destination, en poudres de mine, de chasse et de guerre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En France, la *poudre de mine* se présente sous la forme de grains ronds, de couleur terne, dont la grosseur varie de 3 à 6 millimètres.

La *poudre de chasse* est en grains anguleux, très fins et très brillants, de trois grosseurs différentes. Elle sert aussi pour les pistolets-revolvers.

La *poudre de guerre* présente des grains très variables, suivant les armes auxquelles elle est destinée.

Les poudres nouvelles pour armes portatives ont deux compositions différentes :

	Salpêtre.	Soufre.	Charbon.
Poudre B.	74	10,5	15,5
Poudre F_1.	77	8	15

Les poudres à canon nouvelles contiennent : 75 salpêtre, 10 soufre et 15 charbon. Leurs grains sont généralement réguliers, de forme parallélipipédique et recouverts d'une couche brillante due au lissage.

Le chargement des obus se fait avec une poudre spéciale à grains fins récemment adoptée.

Nous signalerons encore la poudre V (initiale du nom de l'inventeur) pour le nouveau fusil de 8^{mm}. La composition en est gardée secrète. Bornons-nous à dire qu'elle a une remarquable force de projection, tout en faisant peu de bruit et de fumée et en n'encrassant pas l'arme.

§ 49. **Désignation des poudres.** — On désigne les poudres actuellement en usage pour les bouches à feu par la lettre initiale de la poudrerie : (S pour la poudrerie de Sevran-Livry, B pour celle du Bouchet, et W pour celle de Wetteren). Cette initiale est précédée parfois d'une lettre qui particularise son mode de fabrication, et elle est suivie d'indications relatives à la grosseur des grains.

Ainsi la poudre AS de $13/21^{mm}$ est une poudre fabriquée à Sevran-Livry, dont le dosage et le mode de fabrication sont désignés par la lettre A, et dont les grains, provenant d'une galette de 13^{mm} d'épaisseur, ont pour plus grande dimension 21^{mm}.

§ 50. **Poudres étrangères.** — Les poudres *belges* de Wetteren, employées par la marine française, ont une composi-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tion qui se rapproche de celle de l'ancienne poudre à canon. Il en est de même de la poudre *prussienne*, tandis que les poudres *anglaise*, *italienne* et *russe* ont la même composition que la poudre française nouvelle.

Les grains des poudres étrangères à gros grains, ont moins de régularité que ceux des poudres françaises; ils offrent l'apparence de cailloux noirs, ce qui a fait donner à ce type le nom de *poudre caillou*.

Les poudres réglementaires anglaises sont habituellement désignées par des abréviations qu'il peut être utile de connaître. La poudre RLG (rifle large grain) sert pour les canons de petit calibre; elle a remplacé l'ancienne poudre LG. La poudre RFG (rifle fine grain) sert pour les fusils rayés. Il en existe une variété, à grains très fins, destinée aux pistolets et aux obus à balles. Pour les canons de gros calibre on emploie les poudres *pebbles* à gros grains et de dimensions variables suivant les calibres, et la poudre *pellet* à grains cylindriques évidés.

En Russie on se sert de poudres prismatiques à gros grains, en forme de prismes hexagonaux, percés de sept canaux (fig. 22).

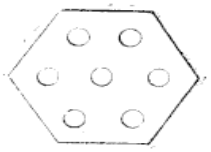


Fig. 22.

Ces poudres, préparées d'abord en Amérique, ont été aussi adoptées en Allemagne et en Hollande.

On a mis récemment en service, en Allemagne, de nouvelles poudres prismatiques, dont les grains sont percés d'un seul canal central.

FABRICATION DE LA POUDRE.

§ 51. **Matières premières.** — *Salpêtre* ou *nitre*. L'azotate de soude, qui se trouve tout formé dans certains pays, au Pérou, par exemple, sert à la préparation du salpêtre. Le minerai exploité en contient de 20 à 60 p. 100.

En traitant à chaud l'azotate de soude par le chlorure de potassium, il se forme par double décomposition de l'azotate de potasse (salpêtre) et du chlorure de sodium. Le salpêtre ainsi obtenu contient des chlorures qui sont très hygrométriques, ce qui le rend impropre à la fabrication de la poudre. On le purifie dans les raffineries de l'État, à Bordeaux, Lille et Marseille.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le salpêtre employé doit être en poudre, bien sec, très pur; et il ne doit pas contenir plus de 1/3000 de chlorures.

Soufre.—Le soufre employé dans les poudreries sort de la raffinerie de Marseille, qui tire le soufre brut de la solfatare de Pouzolles, près de Naples. Le raffinage s'opère par distillation. On chauffe le soufre dans une chaudière. Les vapeurs se condensent dans une chambre voûtée. On obtient ainsi la fleur de soufre. La condensation continuant, la température s'élève et le soufre fond. On le recueille dans des moules, où il se solidifie en *canons*. La fleur de soufre n'est pas employée directement parce qu'elle contient beaucoup d'acide sulfurique.

Dans le soufre il ne doit pas exister d'arsenic, qui rendrait la poudre nuisible à la conservation des armes. La présence de l'arsenic s'annonce par une coloration rougeâtre caractéristique. On vérifie si dans le soufre il n'entre pas 2 ou 3 p. 100 de matières étrangères, en le brûlant dans un creuset et en pesant le résidu de la combustion.

On reconnait la présence des acides en broyant une certaine quantité de soufre que l'on fait bouillir dans de l'eau distillée, et en l'essayant au papier de tournesol.

Le soufre qui a été fondu en canons est broyé avec des gobilles en bronze dans un baril tournant. Mais dans les poudreries il est généralement pulvérisé entre deux meules; un ventilateur le chasse du blutoir sur lequel il tombe, et l'envoie dans une chambre, où il est recueilli à l'état impalpable.

Charbon.—La fabrication du charbon destiné aux poudres est une opération fort délicate à cause de l'uniformité qu'il doit présenter dans sa composition. La nature du bois, la température et le mode de carbonisation influent beaucoup sur la qualité du charbon. Aussi les poudreries fabriquent-elles leur charbon elles-mêmes et au fur et à mesure de leurs besoins.

Le bois de bourdaine est seul employé en France pour les poudres de guerre et de chasse. Le peuplier, le bouleau, le coudrier, le fusain, servent pour les poudres de mine et pour celles d'exportation. Le bois coupé en pleine sève et dépouillé de son écorce est soumis à la carbonisation.

Depuis 1862, cette opération se fait toujours dans des cylindres et à l'abri de l'air. L'appareil de Sevran-Livry (Pl. I, fig. 1) se compose de fours à 8 cylindres en tôle. Chaque cylindre est porté

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par des galets g au-dessus d'une grille G; il est disposé de manière à être chauffé également sur tout son pourtour. Les gaz provenant de la distillation du bois sont utilisés comme combustible. Ils se rendent avec les goudrons dans le tube collecteur A; les goudrons s'écoulent en B, et les gaz se répandant dans le tuyau E viennent par les tubulures e, e' se rendre dans le foyer.

Les différentes phases de carbonisation sont caractérisées par la teinte des vapeurs qui se dégagent, la couleur de leur flamme et l'échappement des produits liquides.

Jusqu'à 150° environ, il ne s'échappe que de l'eau qui se vaporise, puis des gaz combustibles et une huile empyreumatique. Vers 250° le bois a passé à l'état de *brûlot parfait;* ce n'est plus du fumeron, c'est déjà du charbon; mais sa ténacité et son élasticité s'opposeraient encore à la pulvérisation. Vers 260° les goudrons commencent à apparaître; de 270 à 300°, on obtient le charbon roux employé pour la fabrication de la poudre F_2 et de la poudre de chasse. Aux environs de 300 à 350° la couleur de la flamme indique qu'on est arrivé au charbon noir convenable pour la fabrication des poudres à canon. Quand la température dépasse 340°, la flamme devient d'un blanc éclatant; et, si l'on continue à chauffer, la flamme disparaît et le charbon se transforme en braise.

Quand l'opération est finie, le cylindre roulant sur ses galets est amené dans un chariot qui se meut sur un chemin de fer. Il faut le laisser refroidir avant de l'ouvrir. On procède ensuite à un triage au moyen d'un tamis à larges mailles, pour laisser passer le poussier, les braisettes et les matières étrangères. Le charbon trié est conservé dans des barils bien fermés; au bout d'un certain temps il devient très friable.

Si à l'air libre les charbons sont soumis à une température de 340°, ils s'enflamment spontanément. Le poussier même ne peut être conservé dans les magasins à cause de sa tendance à prendre feu. Dès qu'ils sont mélangés au soufre et au salpêtre, les charbons perdent cette propriété.

§ 52. **Pulvérisation.** — Les matières premières ayant été préparées comme nous venons de le voir, on procède à leur pulvérisation. Cette opération se fait dans des tambours tournant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

autour d'un axe horizontal et contenant des gobilles en bronze. Pour le charbon, à cause des dangers d'incendie, les tambours en bois sont revêtus de cuir. Le charbon réduit en poudre, est tamisé et recueilli dans des étouffoirs.

On peut agir de même pour le soufre; mais nous avons vu que l'opération était souvent faite entre deux meules.

Pour les poudres de chasse et généralement aussi pour celles de guerre, on pulvérise à la fois le soufre et le charbon ou bien le salpêtre et le charbon; mais on n'opère jamais en même temps sur le soufre et le salpêtre; c'est une opération dangereuse.

Une fois les trois éléments pulvérisés et dosés, on les mélange à la main en y ajoutant un peu d'eau.

§ 53. **Trituration**. — Pour les poudres de guerre, la trituration se faisait autrefois avec des pilons; maintenant on emploie des meules.

Les meules cylindriques en fonte sont accouplées deux à deux; elles pèsent chacune 5 à 6 tonnes. Elles sont verticales et tournent autour d'une piste en fonte. Elles sont montées de façon à pouvoir se soulever verticalement tout en étant entraînées par l'arbre central. Comme elles sont cylindriques, elles sont animées d'un double mouvement de roulement et de glissement, ce qui assure le mélange intime des matières.

§ 54. **Galetage**. — On peut commencer le galetage aux meules mêmes en les faisant tourner très lentement sur les matières fortement humectées; mais les galettes ainsi obtenues n'ont pas une épaisseur constante. On les concasse, et on les moule dans un cadre en bois. On superpose les gâteaux obtenus, en les séparant par des plaques en caoutchouc ou des toiles portant des nervures saillantes, et on les place sous une presse hydraulique. La densité de la poudre varie avec la pression et la durée de l'opération.

§ 55. **Grenage**. — Les galettes minces sont concassées avec des maillets. Pour les poudres à gros grains, les stries produites par les nervures des diaphragmes en caoutchouc ou en toile déterminent des lignes de rupture suffisantes. Pour les poudres des canons de 27^{cm} 38/40 fabriquées à Sevran-Livry, on se sert de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

machines à découper, dans lesquelles un couteau de bronze taille la galette en bâtons de largeur uniforme qu'on fend ensuite au maillet. Un tamisage permet de classer les grains suivant leur grosseur.

§ 56. **Lissage.** — Cette opération a pour but d'effacer les arêtes vives des grains et d'augmenter leur dureté. On les fait tourner dans des tonnes en bois animées d'un mouvement de rotation d'abord très lent, dont la vitesse va en s'accélérant. Le poussier bouche les pores de la surface, qui devient lisse et brillante.

§ 57. **Séchage. Époussetage.** — On procède ensuite au séchage. La poudre est étendue sur une toile en-dessous de laquelle passe un courant d'air que l'on peut chauffer au moyen de tuyaux de vapeur.

Enfin, la poudre est tamisée à la main dans des tamis en peau, en crin ou en soie pour entraîner les derniers déchets.

§ 58. **Épreuves des poudres.** — Les épreuves sont de deux sortes :

1° *Épreuves physiques.* — On constate l'apparence, la forme, la grosseur des grains. Puis la densité est déterminée par le poids d'un volume donné de poudre. La dureté est vérifiée en plaçant la poudre dans un baril qu'on fait rouler sur un plan incliné garni de tasseaux, de façon à communiquer au baril des soubresauts. Quand il a parcouru environ 1.000^{m}, on ne doit pas trouver de poussier.

Le degré d'humidité est constaté en écrasant un certain poids de poudre que l'on soumet à une étuve chauffée à 100°. La différence de poids à la sortie de l'étuve donne la quantité d'eau contenue.

2° *Épreuves balistiques.* — Les recettes des poudres ont toujours lieu dans leurs conditions habituelles d'emploi. Si une même poudre doit servir dans des bouches à feu de calibres différents, elle est éprouvée dans le canon de calibre inférieur ; et, dans ce calibre, l'épreuve est toujours faite à la plus grande des charges réglementaires et avec le projectile le plus lourd en service.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les poudres à éprouver sont tirées comparativement à un lot de même espèce pris pour type, et réservé exclusivement à cet usage. On tire 3 coups avec la poudre type en mesurant chaque fois la vitesse initiale et les pressions dans l'âme. Puis on tire 3 coups avec les poudres essayées et l'on compare la moyenne des vitesses et des pressions à celles de la poudre type.

Il est important que les charges de poudre soient vérifiées avec le plus grand soin; il en est de même de la densité de chargement, du poids du projectile et des dimensions de la ceinture.

Quand il s'agit d'essayer une poudre nouvelle, l'inspection générale de l'artillerie fixe par une instruction les conditions de recette de cette poudre. Ainsi, par exemple, la dépêche du 3 mai 1882 détermine comme il suit les conditions de recette de la poudre A 26/34 dans le canon de 16 centimètres, modèle 1870.

Conditions du tir.	Poids du projectile.	45^{kg}
	Montage renforcé du 19 mars 1881	
	Poids de la charge.	17^{kg},400
	Angle de tir.	3°
	Densité de chargement.	0,943
Conditions de recette.	Vitesse initiale de recette comprise entre	537 et 549^{m}
	Pression de recette inférieure à	2.500^{kg}
	Écart moyen des vitesses inférieur à.	2^{m}

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2E PIE. — CHAPITRE II

EXPLOSIFS DIVERS AUTRES QUE LA POUDRE

COMPOSITION CHIMIQUE DE CES EXPLOSIFS

§ 59. **Généralités**. — Les matières explosibles employées, en outre de la poudre, à des usages militaires sont : le coton-poudre comprimé en pâte, la nitroglycérine sous forme de dynamite à base inerte ou à base active, l'acide picrique et les picrates. Plus rarement, on a employé les produits de la réaction de l'acide azotique sur la benzine, essayés sous les noms de bollite, d'hellhoffite, etc.

Toutes ces substances sont des combinaisons chimiques ou des mélanges de combinaisons chimiques provenant de l'action de l'acide azotique au maximum de concentration sur une substance organique ou sur un composé hydrocarburé.

§ 60. **Coton-poudre**. — Le *coton-poudre*, que l'on appelle aussi *fulmicoton* ou *pyroxyle*, a été découvert par Schoenbein vers 1846. On l'obtient en traitant par le mélange d'acide azotique fumant et d'acide sulfurique concentré le coton, qui est de la cellulose presque pure. La composition de cette substance est analogue à celle des éthers composés ou des corps gras ; elle résulte de la substitution d'un certain nombre de molécules d'acide azotique anhydre à un nombre égal de molécules d'eau. Selon Abel, 3 molécules d'acide remplacent 3 molécules d'eau ; la réaction est exprimée par la formule

$$C^{12}H^{10}O^{10} + 3AzO^5, HO = C^{12}H^7O^7, 3AzO^5 + 6HO.$$

L'acide sulfurique n'intervient que pour absorber l'eau. La formule du coton-poudre est alors

(1) $$C^{12}H^7O^7, 3AzO^5.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C'est de la cellulose trinitrée.

D'après Pelouze, la formule du coton-poudre serait

(2) $$C^{24}H^{15}O^{15},5AzO^5,$$

que l'on peut considérer comme un mélange équivalent pour équivalent de cellulose trinitrée

$$C^{12}H^7O^7,3AzO^5,$$

et de cellulose binitrée

$$C^{12}H^8O^8,2AzO^5.$$

Enfin, d'après M. Berthelot, la formule du coton-poudre serait

(3) $$C^{24}H^{10}O^{10},5(A_2O^5,HO).$$

Le tableau ci-joint permet de comparer la composition centésimale du coton-poudre comprimé, fabriqué d'après les procédés d'Abel ou de Lenk, composition donnée par une série d'analyses exécutées à Woolwich, avec la composition centésimale des produits représentés par les trois formules d'Abel, de Pelouze et de Berthelot.

	CARBONE	HYDROGÈNE	OXYGÈNE	AZOTE	
Formule d'Abel $C^{12}H^7O^7,3AzO^5$	24,24	2,36	59,26	14,14	100
Id. de Berthelot $C^{24}H^{10}O^{10},5(AzO^5,HO)$	26,23	2,73	58,29	12,75	100
Id. de Pelouze $C^{24}H^{15}O^{15},5AzO^5$	26, 23	2,73	58,29	12,75	100
Coton-poudre d'Abel et de Lenk, suivant analyses	25,10	3,10	59,40	13,40	

On voit que la formule de Pelouze se rapproche assez des résultats de l'analyse, pour qu'on puisse la considérer comme représentant la vraie composition du coton-poudre pur. Celui-ci doit donc être regardé comme un mélange de cellulose trinitrée et de cellulose binitrée.

M. Trauzl est, dit-on, parvenu, à Vienne, à fabriquer de la cellulose trinitrée pure, en soumettant à un mélange d'acides sulfurique et azotique le résidu du traitement de la cellulose par l'acide sulfurique concentré.

§ 61. **Nitroglycérine**. — La nitroglycérine s'obtient en traitant la glycérine par le mélange d'acide azotique fumant et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'acide sulfurique concentré. Pour que la réaction soit moins dangereuse, il convient de mélanger d'abord la glycérine et l'acide, sulfurique et de n'introduire, l'acide azotique fumant que progressivement, dans le mélange entièrement refroidi, et en continuant à absorber par un réfrigérant d'eau continue la chaleur qui se dégage.

La formule suivante exprime la réaction :

$$C^6H^8O^6 + 3(AzO^5, HO) = C^6H^5, 3AzO^4, O^6 + 6HO;$$

3 molécules d'hydrogène de la glycérine sont remplacées par autant de molécules d'acide hypoazotique ; l'eau est absorbée par l'acide sulfurique.

La formule de la nitroglycérine est donc

$$C^6H^5, 3AzO^4, O^6;$$

et sa composition centésimale est :

Carbone	15,84
Hydrogène	2,23
Oxygène	63,39
Azote	18,54
	100,00

C'est de la glycérine trinitrée.

§ 62. **Acide picrique. Picrates. Mélinite.** — Si l'on traite le phénol par le mélange d'acide azotique et d'acide sulfurique, tous deux au maximum de concentration, on obtient l'*acide picrique*.

Les sels ou *picrates* formés par sa combinaison avec les oxydes de potassium, de sodium, d'ammonium, de baryum, de strontium, de plomb, constituent des explosifs très puissants, soit seuls, soit mélangés à un azotate.

L'acide picrique a pour formule

$$C^{12}H^3, 3AzO^4, O^2.$$

Sa composition centésimale est :

Carbone	31,39
Hydrogène	1,32
Oxygène	48,90
Azote	18,39
	100,00

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La réaction qui lui donne naissance peut s'écrire comme il suit :

$$C^{12}H^6O^2 + 3(AzO^5HO) = C^{12}H^3, 3AzO^4, O^2 + 6HO ;$$

3 molécules d'acide hypoazotique se sont substituées à 3 molécules d'hydrogène. L'acide picrique est le phénol trinitré.

Nous citerons ici pour mémoire seulement la *mélinite*, dont la composition est gardée secrète, et qui constitue un explosif puissant de même nature que l'acide picrique.

§ 63. **Nitrobenzine.** — Si l'on traite la benzine par les mêmes acides que ci-dessus, on obtient la *nitrobenzine*, benzine mononitrée :

$$C^{12}H^6 + AzO^5HO = C^{12}H^5AzO^4 + 2HO.$$

Celle-ci, bouillie avec son poids d'acide azotique fumant, donne la *binitrobenzine*, matière première de l'aniline :

$$C^{12}H^5AzO^4 + AzO^5HO = C^{12}H^4, 2AzO^4 + 2HO.$$

De la binitrobenzine on pourrait passer de même à la *trinitrobenzine*. Mais on préfère ne produire la réaction qu'au moment même où l'explosion se fait ou va se faire, comme nous le verrons plus loin.

§ 64. **Bellite.** — En mélangeant 15 p. 100 de binitrobenzine avec 85 p. 100 d'azotate d'ammoniaque, on a obtenu la *bellite*, substance détonante essayée en Suède, en 1886.

§ 65. **Hellhoffite.** — Si l'on enferme dans un obus, muni d'un détonateur spécial, des poids égaux de binitrobenzine et d'acide azotique fumant, ces matières d'ailleurs étant séparées par une cloison qui se brise au départ du projectile, on produit dans l'obus même la trinitrobenzine, *hellhoffite*, qui détone au moment du choc du projectile sous l'action de sa fusée. Ce procédé a été imaginé par Hellhoff.

Il est probable que la paraffine, la naphtaline et en général tous les hydrocarbures donneraient naissance de même à des composés détonants.

§ 66. **Fulminate de mercure.** — Le *fulminate de mercure* est un sel d'un acide non isolé, l'acide fulminique, résultant de l'action de l'acide azotique fumant sur l'alcool.

On le prépare en traitant à froid l'alcool par l'acide azotique

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en présence du mercure ; l'acide, au fur et à mesure de sa production, décompose l'azotate de mercure solide et se dépose sous forme de fulminate.

PROPRIÉTÉS DES EXPLOSIFS

§ 67. **Décomposition spontanée.** — La plupart des matières explosibles sont éminemment instables et tendent à se décomposer en éléments plus simples, presque tous gazeux. Leur décomposition est toujours accompagnée d'un dégagement de chaleur, qui en active l'intensité et peut déterminer des explosions dites *spontanées ;* elle est caractérisée par un dégagement de vapeurs nitreuses. La chaleur, la lumière, l'impureté de la matière, la présence de produits non entièrement nitratés, favorisent cette décomposition.

La nitroglycérine ne peut se conserver que quand elle est retenue par capillarité dans une matière poreuse. Ces mélanges constituent les *dynamites ;* la stabilité dépend surtout de l'avidité de la matière absorbante. Toutes les dynamites donnent à la longue des suintements ; la nitroglycérine non fixée se décompose rapidement et rend en outre le maniement des dynamites très dangereux.

Le coton-poudre subit aussi une décomposition analogue ; elle s'effectue très promptement si l'on expose ce corps à une température de 60 à 80°, et quand il a subi quelque temps cette température, il devient très instable.

C'est ainsi que du coton-poudre, préparé par Lenk, en 1855, et conservé en flacon au laboratoire militaire de Vienne, était entièrement décomposé en 1865.

De même du coton-poudre d'excellente qualité, fabriqué en 1864 et conservé d'une façon analogue, donnait, en 1865, des traces de vapeurs nitreuses sensibles à l'odorat.

Le coton-poudre comprimé d'Abel semble plus stable, ce qui paraît tenir à sa pureté et à son entière nitrification ; néanmoins à la longue il produit des vapeurs nitreuses et se parsème de taches jaunâtres.

On a essayé de le préserver en l'enveloppant d'une couche imperméable, qu'on obtenait en le plongeant dans de la paraffine dissoute par une essence volatile. On l'a même entièrement im-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bibé de paraffine en le trempant dans un bain de paraffine fondue à 60°. Tous ces essais n'ont donné que des résultats contestables.

Quoi qu'il en soit, les amorces de coton-poudre sec encaissées réglementairement ont supporté l'épreuve de campagnes qui ont duré plus de deux ans, même sous les tropiques, à bord des bâtiments français. Jusqu'ici on n'a signalé aucun accident.

Le coton-poudre, quand il est maintenu imbibé d'eau dans une proportion variant de 20 à 30 p. 100, reste au contraire très stable. C'est ainsi qu'il est conservé en magasin et à bord.

La gélatine explosive, substance obtenue en dissolvant 10 p. 100 de coton-poudre comprimé dans 85 p. 100 de nitroglycérine additionnée de 4 à 5 p. 100 de camphre, jouit d'une stabilité assez remarquable.

Le fulminate de mercure a une grande stabilité ; les amorces, soit sous forme d'étoupilles fulminantes, soit sous forme de capsules, se conservent pendant plusieurs années sans décomposition sensible. Mais il est important que ce corps soit très pur. Ainsi des amorces de cartouches pour revolver livrées en 1875 par l'industrie ont été trouvées détériorées entièrement en 1882, tandis que les cartouches fabriquées à Vincennes se maintenaient dans de bonnes conditions de service.

Les picrates doivent aux bases qui entrent dans leur composition une stabilité chimique suffisante. Cependant l'explosion spontanée qui s'est produite le 16 mars 1869, à Paris, place de la Sorbonne, dans le magasin de M. Fontaine, approvisionné d'une grande quantité de picrate de potasse, montre qu'on ne peut accorder une foi absolue à la stabilité de ces composés.

§ 68. **Action de la température.** — Une température même peu élevée (50 à 60°) influe d'une manière fâcheuse sur la stabilité des matières explosives ; elle suffit souvent pour en provoquer la décomposition, sinon brusque, au moins très rapide. Ce fait se remarque dans la nitroglycérine, les fulminates, le coton-poudre sec. D'autres fois la chaleur agit en rendant ces matières incapables de conservation ; le coton-poudre sec en est un exemple. Presque toutes les explosions dues à la décomposition spontanée ont eu lieu en été par de fortes chaleurs.

Le froid n'exerce pas d'action sur le coton-poudre sec, les fulminates, les picrates et leurs dérivés. Au contraire, la nitro-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

glycérine se congèle à 4° au-dessus de zéro. Toutes les dynamites gèlent à cette température et deviennent d'un maniement très dangereux, tandis que leur puissance explosive diminue dans de notables proportions.

Seule la gélatine explosive est insensible au froid et ne gèle qu'à une température fort inférieure à celles qu'on rencontre généralement en Europe.

Aucun essai n'a été fait, à notre connaissance, au sujet de l'action exercée par le froid sur le coton-poudre imbibé d'eau.

§ 69. **Actions mécaniques, chocs.** — Les actions mécaniques, telles que les frottements, les chocs même relativement faibles, font détoner la nitroglycérine, les fulminates d'argent et de mercure. Cette propriété est utilisée pour la confection des capsules à percussion; mais elle rend impossible le maniement de masses un peu considérables de ces substances. Les fulminates ne peuvent être manipulés qu'à l'état humide. Le maniement de la nitroglycérine pure est une opération très dangereuse; elle ne se fait que dans les fabriques de dynamite et avec des précautions toutes spéciales qui n'évitent pas toujours les accidents.

Pour les dynamites, l'absorbant, qui est généralement mou, diminue notablement la sensibilité au choc; les dynamites restent maniables tant qu'il n'y a pas de suintement de nitroglycérine; elles détonent pourtant sur l'enclume, au choc d'un outil ou d'une balle. Jusqu'à 1.800 mètres une balle peut faire détoner ces substances. La gélatine explosive doit à sa consistance molle et élastique la propriété de mieux résister au choc; elle détone par l'effet d'une balle; mais une planche de $2^{cm},5$ suffit pour rendre inoffensive une balle tirée à bout portant.

Les picrates, surtout ceux de potasse et de plomb, sont très sensibles au choc; ce dernier a même servi, en 1870, à la confection de capsules à percussion. En les mélangeant à des azotates ou à la poudre de charbon, on les rend moins dangereux.

Le coton-poudre sec ne détone jamais au choc d'une balle, mais il s'enflamme parfois; il détone par l'effet d'un marteau sur l'enclume.

Le coton-poudre comprimé imbibé d'eau est insensible aux chocs, même à celui d'une balle tirée à bout portant.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 70. **Inflammation. Combustion. Explosion de premier, de second ordre.** — Si l'on porte brusquement un de leurs points à une température assez élevée et qui varie suivant la nature de la substance de 120 à 250°, tous les corps dont nous avons parlé se décomposent subitement en produits pour la plupart gazeux avec un grand développement de chaleur.

Les fulminates de mercure et d'argent détonent toujours ; il en est généralement de même de la nitroglycérine.

Les dynamites enflammées à l'air libre se consument entièrement sans explosion ; le corps absorbant suffit pour maintenir la température de la masse au-dessous du degré d'explosion. Le même fait s'observe avec les picrates, où les oxydes métalliques jouent, grâce à leur grande capacité calorifique, le rôle de l'absorbant ; mais l'essai ne semble pas avoir été fait sur de grandes masses, et l'on ne peut conserver les dynamites que dans des magasins légers, en masses inférieures à 500 kilogrammes largement espacées.

Le fulmicoton comprimé sec, en petite quantité, quand il est allumé à l'air libre, brûle avec une grande flamme jaune sans explosion. S'il est réuni en grande quantité, la température dégagée par la combustion peut amener une partie de la masse au point d'explosion.

Ainsi dans l'incendie provoqué par l'explosion de Stowemarket, en 1871, des galettes de fulmicoton comprimées firent explosion pendant que l'on s'efforçait de les éloigner du foyer.

A Cliffs End près d'Hartings, en 1872, 300 kilogrammes de coton-poudre comprimé, qui étaient contenus dans des caisses résistantes empilées sur un bûcher sous un hangard, firent explosion. Au contraire la même quantité enfermée dans des caisses légères se consuma sans explosion.

Il en fut de même pour plusieurs milliers de kilogrammes de coton-poudre provenant de fabrication française, et qu'on jugeait avariés. On put le brûler en 1886 à la pointe de l'Esterel sans provoquer d'explosion.

Si l'agglomération en magasin d'une grande masse de coton-poudre sec présente de sérieux dangers, il n'en est pas de même du coton-poudre comprimé imprégné d'eau. La proportion de liquide peut varier de 20 à 30 p. 100, mais ne doit pas descendre au-dessous de 17 p. 100.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ainsi à Cliffs End, en 1872, on provoqua la combustion entière, sans explosion, d'une tonne de coton-poudre comprimé en pâte, qui était imprégné de 20 p. 100 d'eau; le tout était renfermé dans quatre-vingts caisses résistantes avec couvercle vissé. L'expérience eut lieu dans une casemate de fortification très solide et parfaitement close. Une première fois les quatre-vingts caisses contenant le coton-poudre humide avaient été simplement empilées les unes sur les autres. Dans une seconde expérience on enferma en outre les quatre-vingts caisses contenant le coton-poudre humecté dans une grande caisse très résistante en bois d'orme. Ces expériences montrent que 20 p. 100 d'eau suffisent, en se vaporisant, pour absorber la chaleur dégagée par la combustion du coton-poudre et pour maintenir la température de la masse au-dessous du point d'explosion.

En vase clos, toutes ces substances allumées par le cordeau Bickford ou l'amorce Abel sans fulminate font explosion. D'après les travaux de MM. Roux et Sarrau, cette explosion simple, dite de *second ordre*, est beaucoup moins violente que la détonation de *premier ordre*, que l'on obtient par l'emploi d'une amorce spéciale. Avec les fulminates d'argent ou de mercure, la détonation est en toute circonstance de premier ordre.

La bellite jouit de propriétés assez remarquables. Soumise au choc le plus violent qu'un homme puisse produire avec un marteau d'acier, elle s'échauffe, mais ne s'enflamme pas. Deux grains de cette substance mis dans une cartouche de cuivre sans balle (celle de la carabine Remington) ont été placés sur une enclume de fer et soumis au choc d'un marteau de 90 livres, tombant d'une hauteur de 17 pieds 1/2, sans produire d'explosion. Des couches de bellite appliquées sur du bois ou sur du fer ont été traversées à la distance de 50 yards par des balles de carabine sans qu'il y eût explosion ni même commencement d'ignition. Un grain de bellite a été placé sans aucun lubréfiant dans le trou que perçait un outil d'acier à travers un morceau de fer; une petite quantité de cette matière a été mise sous une baguette d'acier frappant fortement contre du quartz, sans qu'il se produisît ni explosion ni inflammation. Une masse assez considérable de bellite a été enfermée dans une boîte d'étain et recouverte de poudre à canon. On a mis le feu à celle-ci; la bellite a été projetée en l'air, sans explosion. Deux grains de bellite ont été placés dans un trou

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

percé dans du bois dur et fermé ensuite par un bouchon en bois. Le tout a été jeté sur un feu de coke et s'est consumé sans explosion.

Une cartouche de bellite comprimée a été placée près d'un mur de roche ; et, à trois pouces de distance, on a mis une autre cartouche de nitroglycérine, coton-poudre et nitrate d'ammoniaque, dont on a produit l'explosion au moyen d'une capsule Stubine à percussion. La bellite n'a pas fait explosion, et la cartouche qui la contenait a été trouvée broyée et réduite en poudre.

De ces expériences, faites sous la surveillance de M. Werner Cronquirt, il est permis de conclure que la bellite peut être maniée et emmagasinée sans donner lieu à la combustion spontanée. Pour produire son explosion, il faut un peu de fulminate de mercure. Si la matière est en grains, l'enveloppe qui la contient peut être simplement une mince feuille d'étain. Mais si elle a été comprimée à chaud sous forme de galette dure, il faut une influence plus forte pour produire l'explosion, et l'enveloppe doit être plus solide et adhérente à la matière même.

§ 71. **Détonation. Vibrations synchrones.** — La nitroglycérine, les dynamites, le coton-poudre sec, les picrates, détonent avec une extrême violence, lorsqu'on fait détoner à leur contact une quantité relativement minime de fulminate de mercure.

Le contact de l'amorce avec la substance détonante doit autant que possible être complet, ou bien il faut que l'enveloppe du fulminate soit rigide et métallique ; le fulminate de mercure, s'il est renfermé dans des étoupilles en plume, doit avoir un poids dix fois plus fort que s'il était contenu dans une étoupille en clinquant ou en cuivre.

La détonation d'une masse, quelque grande qu'elle soit, d'une des substances explosives dont il s'agit se produit toujours entièrement et instantanément, lorsqu'elle est provoquée par une amorce convenable de fulminate de mercure.

Le poids de l'amorce varie légèrement : $0^{gr},4$ de fulminate font détoner 50 grammes de fulmicoton, et il en faut au moins $0^{gr},8$ pour produire la détonation de 250^{gr} de la même substance. Les amorces sont en pratique chargées de $1^{gr},5$ de fulminate de mercure et suffisent pour toute quantité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le coton-poudre sec ne détone ni par l'iodure d'azote, ni par le chlorure d'azote ; le fulminate d'argent, tout aussi violent que le fulminate de mercure, ne le fait détoner que sous un poids beaucoup plus considérable. Il ne détone pas par l'amorce au chlorate de potasse et sulfure d'antimoine.

Le coton-poudre humide ne détone ni par les chlorates, ni par les fulminates de mercure et d'argent, ni par les dynamites. Il détone au contact d'une cartouche de coton-poudre sec excité lui-même par l'amorce de fulminate. Le poids de la cartouche sèche doit être au moins le 1/200 de celui du coton-poudre humide ; en pratique la marine adopte des proportions variant de 1/50 à 1/150.

La gélatine explosive est insensible aux fulminates et au coton-poudre sec ; elle détone au contact d'une amorce spéciale de coton-poudre trinitré mélangé à la nitroglycérine.

Enfin la poudre elle-même, soumise à la détonation d'une amorce de nitroglycérine, produit une détonation de premier ordre quatre fois plus puissante que sa simple explosion.

La nitroglycérine, les dynamites, le coton-poudre sec détonent, même à distance, sous l'influence de la détonation d'une certaine masse de même substance. L'intervalle varie avec la nature des explosifs et les poids en présence. Le coton-poudre humecté et la gélatine explosive sont au contraire insensibles à la détonation de corps identiques se produisant dans leur voisinage.

M. Abel, qui a le premier constaté cette importante propriété des substances explosives, base de leur emploi à la guerre, en donne l'explication suivante :

« Une explosion est toujours accompagnée de vibrations. S'il y a synchronisme entre ces vibrations et celles que produirait en détonant un corps placé à côté et qui se trouve dans un haut état de tension chimique, il résulte de cette corrélation que dans ce dernier corps les vibrations ont une tendance à se produire ; c'est la cause qui détermine la détonation, ou, si l'on veut, qui facilite dans une certaine mesure l'action perturbatrice et subite de la force mécanique. »

§ 72. **Force explosive**. — MM. Roux et Sarrau ont étudié en détail l'explosion et la détonation de divers explosifs. Ils ont mesuré le poids de chacune de ces substances strictement néces-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

saire pour provoquer, soit par explosion due à l'inflammation soit par détonation, la rupture de petites bombes en fonte venues d'une même coulée et aussi identiques que possible.

Le rapport de ces poids donne une mesure de la puissance explosive de ces substances dans des conditions analogues.

Les expérimentateurs ont en outre déterminé la quantité de calories dégagées soit par l'explosion, soit par la détonation, de 1 kilogramme de chacune des mêmes matières ; et ils ont mesuré, pour l'explosion de second ordre seulement, le poids de gaz fourni par l'unité de poids de chacune d'elles.

Le tableau ci-dessous résume leurs expériences :

NATURE de la SUBSTANCE	DÉTONATEUR	FORCE EXPLOSIVE		CALORIES DÉGAGÉES (kilog.-degré)		POIDS DES GAZ (kilog.)
		2e ordre	1er ordre	2e ordre	1er ordre	2e ordre
Fulminate de mercure . . .	»	»	9,28	»	752	»
Poudre à fusil	Nitroglycérine.	1,00	4,34	731	732	0,414
Nitroglycérine	Fulminate de mercure.	4,80	10,13	1.720	1.777	0,800
Pyroxyle	id.	3,00	6,46	1.056	1.060	0,850
Picrate de potasse.	id.	1,82	5,31	787	852	0,740
Picrate de baryte.	id.	1,71	5,50	671	705	0,719
Picrate de strontiane . . .	id.	1,35	4,51	637	745	0,624
Picrate de plomb	id.	1,55	5,94	555	663	0,668

M. Berthelot a cherché à mesurer la puissance explosive de diverses substances ; à cet effet il a déterminé, par des considérations empruntées à la thermochimie, le nombre de calories développées par la décomposition brusque de 1 kilogramme de chacune des matières considérées, et, pour chacune d'elles, le volume de gaz mesuré à 0° et sous la pression normale que développerait la combustion. Soient V_0 ce volume, t la température des gaz au moment de l'explosion, α leur coefficient moyen de dilatation ; le volume occupé par les gaz lors de l'explosion sera $V = V_0(1 \times \alpha t)$; et d'après la loi de Mariotte, la pression développée au premier moment sera proportionnelle à V.

On ne peut mesurer directement t ; α est bien difficile à déterminer par expérience ; mais les conditions empruntées à la théorie mécanique de la chaleur conduisent à considérer V, et par conséquent la force expansive, comme proportionnelle au produit du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

volume de gaz réduit à 0 par le nombre de calories dégagées dans la décomposition d'un kilogramme de la substance.

On arrive ainsi aux résultats suivants :

NATURE DE LA SUBSTANCE	VOLUME de gaz à zéro degré (mètres cubes)	NOMBRE de calories (kilog.-degré)	PRODUIT spécifique de la substance
Poudre de guerre	0,300	697	209
Nitroglycérine	0,713	1.579	1.126
Pyroxyle	0,859	1.074	923
Picrate de potasse	0,549	781	429
Picrate de potasse et azotate	0,326	997	325

Il faut remarquer que MM. Roux et Sarrau ont opéré sur du pyroxyle moins nitraté et moins puissant que le coton-poudre comprimé d'Abel ; c'est ce même pyroxyle qui a été expérimenté par M. Berthelot. Des expériences pratiques ont été exécutées aux écoles de pyrotechnie sur le coton-poudre comprimé et sur la dynamite à 75 p. 100 de nitroglycérine. Les charges présentant même poids et même forme étaient renfermées dans des cylindres résistants en bronze, ouverts à leur partie supérieure et placés sur des cylindres identiques en plomb reposant eux-mêmes sur une table en fonte. Les détonations ont produit sur ces cylindres une diminution de hauteur et une augmentation de diamètre identiques : la force de ces deux charges peut donc être considérée comme équivalente.

Du reste, la puissance explosive d'une substance appliquée sans bourrage contre un corps, pour en amener la rupture, ce qui est le cas d'une torpille immergée, dépend non seulement du volume occupé par les gaz au moment de la détonation, mais encore de la rapidité avec laquelle ils se développent. Il en est de même si l'on considère l'action de la charge d'une mine pratiquée dans une roche dure et compacte. L'effet dans les terres, les roches tendres dépend, au contraire, du poids de gaz produit et de la chaleur développée.

§ 73. **Acide picrique.** — Pour terminer l'exposé des propriétés des divers explosifs, nous dirons quelques mots de l'*acide picrique* (§ 62), dont les propriétés sont remarquables.

D'après MM. Roux et Sarrau, il brûle à l'air libre, produit en vase clos une explosion de deuxième ordre et détone sous l'in-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fluence du fulminate de mercure. M. Berthelot a démontré tout récemment que, suivant les conditions dans lesquelles on chauffe l'acide picrique, celui-ci peut détoner sans fulminate.

Le rapport de sa force explosive à celle de la poudre B fusil 1866, est, dans le cas de l'explosion de deuxième ordre, 2,04 ; dans le cas de l'explosion de premier ordre, 5,50. La chaleur dégagée dans l'explosion par inflammation atteint 828 calories, et par détonation 868 calories.

D'après M. Vieille, la quantité de chaleur développée par kilogramme d'acide picrique est 935 calories et le volume de gaz $0^{m3}763$; le produit spécifique de la puissance est 714, ce qui classerait ce corps à poids égal bien au-dessous du coton-poudre. On doit rappeler que sa densité est 1,6, tandis que celle du coton-poudre est environ 1.

A propos de cet important paragraphe et du précédent, il convient d'avertir que les données nécessaires au calcul de la force explosible des substances en vue par la méthode si remarquable de M. Berthelot, étaient fort mal connues il y a quelques années. C'est ce qui explique que les auteurs d'ouvrages sur les explosifs ont été obligés de modifier leurs chiffres primitifs à mesure qu'ils faisaient de nouvelles éditions.

FABRICATION INDUSTRIELLE DES EXPLOSIFS

§ 74. **Coton-poudre.** — Le coton-poudre (§ 60) s'emploie comprimé en pâte. La fabrication industrielle de ce produit est due à M. Abel, et date de 1870 environ. Le coton est choisi parmi les rebuts des filatures ; il doit être parfaitement blanc et exempt de matières étrangères. Il est d'abord parfaitement desséché sur des treillis, dans une chambre chauffée à 60° par des tuyaux de vapeur. Il est divisé en paquets d'une livre, et soumis à quatre immersions successives, pendant 4 ou 5 minutes environ, dans quatre cuves doublées de plomb contenant chacune 70 litres d'un mélange formé par une partie d'acide azotique fumant et trois parties d'acide sulfurique concentré. Après chaque immersion on exprime l'excès d'acide absorbé au moyen d'une presse plate. L'acide consommé est remplacé dans la cuve.

Chaque paquet égoutté à refus est ensuite placé pendant 12 heures dans un vase en grès fermé et immergé aux deux tiers

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans de l'eau constamment renouvelée. Pendant cette macération, l'excès d'acide active la nitrification des parties incomplètement attaquées. On surveille l'opération et l'on arrête au besoin par une légère addition d'acide l'élévation de température qui viendrait à se produire.

Les paquets, réunis six par six, sont complètement essorés dans une essoreuse rotative ; et l'on arrête la réaction en les plongeant pendant 24 heures dans une grande cuve remplie d'eau courante.

Chaque charge de six livres passe ensuite successivement par quatre cuves remplies d'eau constamment renouvelée ; chacune des immersions dure 15 à 20 minutes, et est précédée d'un passage à l'essoreuse mécanique. L'eau de la quatrième cuve doit rester constamment d'une neutralité parfaite.

Après un dernier essorage, le coton-poudre est déchiqueté par une cardeuse mécanique, puis réduit en pâte dans une cuve à palettes. On verse dans la pâte une petite quantité d'une lessive de soude ou de carbonate d'ammoniaque, destinée à achever la neutralisation du coton-poudre et à assurer sa stabilité.

Il ne reste plus qu'à le soumettre, dans des moules de forme appropriée, à une pression de 600 à 650 kilogrammes par centimètre carré, ce qui se fait au moyen de la presse hydraulique. On obtient ainsi des disques ou *slabs*.

§ 75. **Nitroglycérine. Dynamites.** — La préparation industrielle de la nitroglycérine (§ 61), s'opère dans de grandes cuves, où l'on place un vase de même forme en grès ou en plomb d'un diamètre plus petit destiné à recevoir les acides. Le refroidissement est obtenu par deux courants d'eau froide ; l'un circule entre les deux vases, et le second à travers un serpentin de plomb à large surface, qui plonge dans les acides et est traversé par un courant d'eau rapide. Un thermomètre placé dans les acides sert à vérifier si la température reste toujours au-dessous de 25°. La glycérine est amenée en mince filet dans le mélange, contenant une partie d'acide azotique fumant pour trois parties d'acide sulfurique concentré, préparé d'avance et entièrement refroidi. Un agitateur à palettes sert à mêler les liquides. La réaction terminée, on précipite la nitroglycérine par l'eau froide, et l'on sépare par décantation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En France, on mélange d'avance la glycérine à l'acide sulfurique concentré dans la proportion d'un vingtième.

Les dynamites (§ 67) sont formées avec de la nitroglycérine retenue par capillarité dans un corps solide poreux. Ce dernier peut être inerte, et alors la dynamite est dite à *base inerte*, ou bien il est susceptible de fournir lui-même de nouveaux gaz par sa propre décomposition, et, dans ce cas, la dynamite est dite à *base active*. La substance est généralement riche en oxygène; mais la nitroglycérine possède elle-même un excès d'oxygène qui, dans l'explosion, peut être employé à comburer un corps avide d'oxygène. La force d'une dynamite à base inerte est pratiquement égale à peu près à celle de la nitroglycérine qu'elle contient. Celle d'une dynamite à base active peut lui être supérieure.

§ 76. **Dynamite à base inerte.** — En Allemagne et en Autriche, on emploie comme absorbant de la nitroglycérine le *kieselguhr*, substance siliceuse provenant de la pétrification de l'enveloppe de certaines algues, et dont on rencontre d'importants gisements à Oberloche. Le kieselguhr peut absorber et retenir jusqu'à 75 p. 100 de nitroglycérine.

En France, l'absorbant dont on se sert est la *randanite*, minéral composé de silice pure légèrement gélatineuse, et que l'on trouve dans le Puy-de-Dôme. Cette matière est constituée par de petits corps fossiles; elle est blanche, fort légère et très friable. La randanite absorbe en pratique 70 à 72 p. 100 de nitroglycérine; les dynamites qui en contiennent plus donnent souvent des suintements.

On a employé et on emploie encore, pour faire des dynamites moins riches en nitroglycérine : la cendre de boghead, qui en absorbe 30 p. 100; la brique pilée, qui en retient 20 à 25 p. 100; le tripoli, silice entièrement divisée provenant de carapaces de fossiles d'infusoires, qui peut absorber 60 à 68 p. 100 de nitroglycérine.

Enfin on s'est servi de la paille hachée qui donne une très bonne dynamite.

La fabrication de ces dynamites consiste simplement à pulvériser et à tamiser finement l'absorbant, que l'on étend en couche mince sur une table en bois recouverte de plomb. La nitroglycé-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rine est versée peu à peu avec grande précaution sur cette poudre; et on la triture au moyen d'un rouleau en bois ou en verre terminé par des poignées. Les mains de l'ouvrier sont protégées par une plaque en cuir. On relève en tas la matière à plusieurs reprises, et on l'étend de nouveau jusqu'à ce qu'on obtienne un mélange homogène. L'essentiel est d'éviter les fuites toujours fort dangereuses de nitroglycérine. Lorsque le mélange est parfaitement achevé, il ne reste plus qu'à l'introduire dans les cartouches en zinc ou en papier.

§ 77. **Dynamites à base active.** — Le *lithofracteur*, employé par les Allemands en 1870, est un mélange de dynamite à base siliceuse avec de la poudre de mine ou avec de la poudre de charbon, le tout agglutiné par du pétrole en petite quantité; il semble mieux retenir la nitroglycérine et est moins sensible au froid.

On a fabriqué des dynamites dites *poudre blanche*, en absorbant la nitroglycérine par du sucre ou de la sciure de bois.

La *sébastine*, qui a été essayée en Suède, où elle sert surtout aux travaux de mine, est une dynamite ayant pour absorbant du charbon de bois et de l'azotate de potasse.

La composition de la sébastine n° 1 serait :

Nitroglycérine	78
Salpêtre	8
Charbon	14
	100

La composition de la sébastine n° 2 :

Nitroglycérine	68
Salpêtre	12
Charbon	20
	100

Ces compositions se rapprochent beaucoup du lithofracteur.

La *dualine* est un mélange de nitroglycérine et de sciure de bois préalablement convertie en pyroxane par l'acide azotique.

En Autriche on a étudié avec grand soin la *gélatine explosive*. Elle résulte de la dissolution de 10 p. 100 de coton-poudre parfaitement pur dans 90 parties de nitroglycérine. La dissolution s'épaissit au point de former une masse gélatineuse, si l'on y ajoute pendant qu'elle s'opère une proportion de camphre plus

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ou moins forte, mais qui varie ordinairement de 5 à 15 p. 100; le camphre remplace le même poids de nitroglycérine.

Cette gélatine explosive est parfaitement maniable, très stable, insensible aux chocs, même à celui d'une balle, à condition qu'elle soit protégée par une planche de 25 millimètres d'épaisseur.

On a pu la conserver plusieurs années sans qu'elle éprouvât trace de décomposition spontanée; elle ne gèle pas, est insoluble dans l'eau et ne donne jamais de suintements.

Elle ne fait explosion que par la détonation d'une amorce spéciale, qui est elle-même une dissolution de cellulose trinitrée pure dans 90 p. 100 de nitroglycérine et dont le fulminate de mercure provoque la détonation. Sa force explosive est supérieure ou au moins égale à celle des meilleures dynamites.

Comme nous l'avons vu, en traitant la benzine par l'acide azotique, on peut obtenir la *métabenzine* qui, soumise à son tour à l'acide azotique fumant, se transforme en *binitrobenzine*.

En mélangeant cette substance à un azotate, on obtient un mélange explosif, la *bellite* (§ 64), qui a été expérimenté en Suède.

Sa composition est :

Binitrobenzine	15
Azotate d'ammoniaque	85
	100

Sa puissance est très grande; mais ce corps est fort hygrométrique et devient déliquescent.

Hellhoff a employé la *trinitrobenzine*, ou *hellhoffite* (§ 65), qui est un mélange de :

Binitrobenzine	50
Acide nitrique	50
	100

Chacun des éléments qui forment l'hellhoffite est inoffensif et stable; la binitrobenzine est fort difficile à allumer. Mais leur mélange produit un explosif très énergique, possédant une puissance supérieure à celle de la dynamite. Nous verrons (§ 83), comment on a cherché à l'utiliser pour le chargement des obus. L'helloffite a le grand inconvénient d'être volatile, ce qui empêche sa conservation; en outre, elle se détruit par l'eau et ne pourrait donc pas servir au chargement des torpilles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 78. **Poudres aux picrates.** — Les poudres aux picrates (§ 62), sont fabriquées comme la poudre ordinaire; chacun des corps composants est pulvérisé et tamisé; le mélange s'opère dans des tonnes à gobilles.

On a successivement essayé la poudre au picrate d'ammoniaque :

Picrate d'ammoniaque	54
Nitrate de potasse	46
	100

la poudre au picrate de potasse :

Picrate de potasse	54,5
Nitrate de potasse	45,5
	100,0

On a enfin mélangé avec les poudres aux picrates le chlorate de potasse. Ainsi on a fabriqué, sous le nom de *poudre verte*, un mélange de :

Chlorate de potasse	14
Acide picrique	4
Prussiate jaune de potasse	3
	21

Mais toutes les poudres au chlorate ont toujours été rejetées du service des armées. Elles sont très dangereuses.

EMPLOI DES EXPLOSIFS AU SERVICE DE GUERRE.

§ 79. **Conditions à remplir.** — Toutes les substances explosives ne sont pas propres au service de guerre, qui exige les conditions suivantes :

1° Posséder la force brisante maxima sous l'unité de poids et de volume ;

2° Détoner sûrement sous l'action d'une amorce spéciale et rester autant que possible inexplosibles en présence de tout autre agent, c'est-à-dire résister aux actions mécaniques, au choc des projectiles, aux explosions voisines ;

3° Être stables, c'est-à-dire ne pas subir de décomposition en magasin ou dans les transports ; résister à l'humidité et aux variations de température.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces conditions, on le conçoit, ne sauraient être absolues. On peut dire qu'à l'époque actuelle les seules substances satisfaisant dans une certaine mesure à ce programme sont :

Le coton-poudre comprimé d'Abel,

Les dynamites à base de silice pure,

La gélatine explosive.

Sous le rapport de la puissance, ces matières peuvent être regardées comme à peu près équivalentes.

Au point de vue de la résistance au choc, on peut les ranger dans l'ordre suivant :

Coton-poudre humide, coton-poudre sec, gélatine explosive, dynamites.

Le coton-poudre humide seul peut impunément être traversé par une balle à petite distance ; la dynamite est à ce point de vue assez dangereuse.

Tous ces agents détonent sous l'influence de capsules au fulminate de mercure ; mais le coton-poudre humide exige l'emploi d'une cartouche de coton-poudre sec ; la gélatine explosive a besoin d'une cartouche spéciale. Le coton-poudre à l'état sec et la gélatine explosive résistent au froid ; la dynamite présente le grand défaut de geler à 4° au-dessus de 0. La stabilité de ces trois substances est plus grande que celle des autres matières explosives proprement dites ; mais elle n'est que relative. Cette question est du reste l'objet principal des études actuellement entreprises. Rappelons que cette qualité dépend principalement de la pureté des éléments employés et des soins apportés à leur fabrication.

En pratique, on arrive par un encaissage soigné, dans de bons magasins, à conserver ces substances plusieurs années.

§ 80. **Emploi des explosifs**. — 1° *Service à terre*. — Les matières explosives sont employées dans le service à terre aux travaux de mine et de rochage, dans les roches dures et compactes ; ou pour produire, à l'extrémité de trous de forage, des chambres que l'on remplit ensuite de poudre ordinaire.

On s'en sert aussi pour provoquer, sans bourrage ou avec des bourrages légers, des effets de rupture sur le matériel fixe ou roulant des chemins de fer et sur les obstacles que l'on peut aborder de plein pied, tels que les grilles, les palissades, les murs ; on les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

emploie encore à l'abattage des arbres, à la destruction des ponts et autres ouvrages d'art, à la mise hors service des pièces d'artillerie, et à la rupture des projectiles chargés qui n'ont point fait explosion à leur point de chute.

Pour ces usages, presque toutes les armées européennes se servent de dynamite; elle est mise sous forme de cartouches ou de pétards cylindriques ou prismatiques, du poids de 150 grammes. Ces cartouches, fixées au moyen de fil de fer, de baguettes ou de planches, ou simplement rattachées en chapelet, sont appliquées contre l'obstacle, de façon à donner à la charge une forme appropriée. Les amorces, pour les opérations précédentes, sont chargées de fulminate de mercure (1^{gr},5 environ); elles sont électriques ou à simple inflammation.

L'armée anglaise emploie le coton-poudre comprimé.

2° *Service à la mer*. — Dans le service à la mer, le coton-poudre est utilisé par presque toutes les marines pour charger les torpilles fixes (dormantes ou mouillées), les torpilles portées et les torpilles automobiles; les marines russe, autrichienne et italienne emploient, en outre, la gélatine explosive.

Nous examinerons ce sujet en détail dans le chapitre consacré aux torpilles.

§ 81. **Chargement des projectiles**. — L'artillerie de terre et l'artillerie de marine étudient concurremment l'emploi des matières explosives pour le chargement de leurs obus.

Nous allons rappeler les divers essais exécutés jusqu'à ce jour; et dans la partie consacrée à l'artillerie, nous donnerons la description détaillée des projectiles en usage.

L'emploi des matières explosives, comme charge intérieure des projectiles, présente de très grandes difficultés, qui jusqu'à ces dernières années avaient fait renoncer à cet usage.

Il faut d'abord que la substance employée soit assez insensible aux actions mécaniques et à l'élévation de température pour résister aux chocs dans les transports et les manœuvres, et surtout au choc énorme que reçoit le projectile dans l'âme de la pièce, ainsi qu'aux frottements que subit la charge intérieure par suite du mouvement rapide de translation et de rotation du projectile. L'emploi des poudres lentes modère heureusement le choc au départ.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

D'autre part il est nécessaire que la matière soit stable chimiquement, afin de ne se décomposer ni en magasin ni dans l'obus, même au contact du métal ou du vernis protecteur dont l'intérieur est revêtu.

Enfin, il faut que le détonateur spécial qui remplace la fusée ordinaire présente toute la sécurité nécessaire. L'organisation de cet appareil est la partie la plus délicate de la question. D'abord son poids, bien supérieur à celui de la fusée ordinaire, exige pour sa confection l'emploi de l'acier. En outre, le détonateur doit produire la détonation de la charge intérieure au moment le plus favorable à l'entière utilisation de la force explosive.

Pour les obus ordinaires de l'artillerie de campagne, dont la pénétration est généralement faible, ainsi que pour les obus ordinaires de l'artillerie de côte ou de marine, destinés à agir sur les parties non cuirassées des navires, l'explosion doit se faire le plus rapidement possible, à l'arrivée du projectile; il faut employer un détonateur percutant à détonation rapide.

Pour les obus ordinaires de siège et de place, pour les obus ordinaires de l'artillerie de marine destinés à battre des fortifications, enfin pour tous les obus de rupture servant à agir contre des cuirassements, la détonation de la charge explosive ne doit avoir lieu que quand le projectile a fourni contre l'obstacle tout le travail mécanique qu'il est capable de produire. Il faut donc employer un détonateur spécial à explosion retardée. En outre, pour les obus de rupture, il convient d'installer ce détonateur au culot du projectile, afin de laisser à la pointe toute sa résistance. On doit enfin, dans ce genre de projectiles, éviter que la charge ne subisse une explosion de second ordre par suite de l'échauffement de l'obus; cette explosion a, nous le savons, une puissance bien moindre que celle de la détonation produite par du fulminate de mercure.

Les obus à balles destinés à agir sur les hommes reçoivent une charge de poudre ordinaire; celle-ci ne sert en effet qu'à déchirer l'enveloppe du projectile, et les substances explosives d'autre nature ne donneraient pas en éclatant une fumée assez perceptible, ce qui serait un très grave inconvénient pour la rectification du tir.

Probablement que dans le tir contre les plaques cuirassées, il y aurait avantage à employer une matière différente de celle qui sert pour le tir contre les terres ou les fortifications ; mais il faut,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'autre part, éviter les complications résultant de l'adoption dans un même service de plusieurs substances explosives.

§ 82. **Essais exécutés en France.** — Les premiers essais méthodiques faits en France ont été exécutés à Gavre, en juin 1868 ; ils comportèrent le tir d'obus de 24 et de 19 en fonte dure, dans les canons du système 1864, contre des plaques en fer forgé de 15 centimètres. Le tir était normal à la plaque ; les vitesses étaient de 330 mètres pour le 24 et de 340 mètres pour le 19.

Les obus de 24 avaient reçu soit une charge de $1^{kg},5$ de poudre au picrate de potasse, soit une charge de dynamite de 1 kilogramme environ ; la charge était renfermée dans un cylindre en zinc vissé par sa base sur la partie antérieure du bouchon de l'obus, avec interposition d'une rondelle de plomb. L'aiguille d'un mécanisme placé dans le bouchon du projectile devait, au moment de l'arrivée de l'obus, agir sur une amorce au fulminate disposée sous la charge de dynamite.

Les obus de 19 centimètres n'avaient reçu qu'une charge de poudre au picrate de potasse pesant 800 grammes. Comme pour les projectiles de 24, cette poudre était simplement mise à nu dans l'intérieur du projectile, sans emploi de moyens spéciaux pour retarder l'inflammation ; celle-ci ne se produisait que par l'échauffement du projectile ; on ne provoquait donc qu'une explosion de second ordre.

Les obus de 24 et de 19 ne donnèrent aucun éclatement prématuré ; ils traversèrent tous la muraille et éclatèrent dans le matelas. Les effets ne parurent pas sensiblement supérieurs à ceux qu'aurait produits la poudre ordinaire ; une partie de la charge n'était même pas entièrement consumée.

Les obus de 24 chargés de dynamite firent explosion dans la plaque ; la partie antérieure du projectile traversa la muraille en produisant de nombreux et importants dégâts, beaucoup d'éclats furent projetés en-deçà de la plaque. Des éclatements prématurés suspendirent les expériences, et firent rejeter le système proposé. La Commission émettait en outre l'avis que les dégâts produits par ces obus n'étaient pas supérieurs à ceux d'un boulet plein, et que parfois même ils étaient moindres. Depuis 1875, la marine française, n'attachant à cette question qu'une importance secondaire, cessa les expériences à ce sujet.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En 1870 et 1871, pendant la guerre et la Commune, on fit un grand nombre d'essais pour charger les projectiles à la dynamite; on réussit notamment à lancer sans éclatement prématuré des obus de 4 et de 12 de campagne chargés avec la dynamite présentée par M. Barbe. Mais comme il était impossible de contrôler les résultats, ces expériences n'eurent pas de suite.

En octobre 1872, le général Bruyère fit essayer par la Commission de Calais des obus de campagne de 4 et de 12 chargés d'une poudre au picrate, comportant 54,5 de picrate de potasse et 45,5 de salpêtre. Il se proposait surtout, par l'emploi de cette poudre, de réduire le vide intérieur des projectiles, d'augmenter leur densité et, par conséquent, la tension de leur trajectoire. On ne regardait pas comme désirable d'accroître la puissance de la charge. Les expériences réussirent; on n'eut pas d'éclatement prématuré; mais la tension de la trajectoire ne fut obtenue que par d'autres moyens bien plus efficaces.

En 1873, on soumit au tir, à Calais, des obus de campagne et même quelques obus de siège chargés d'une dynamite à base de silice proposée par M. Barbe. On réussit à pousser la vitesse initiale jusqu'à 600 mètres sans obtenir d'éclatement prématuré; mais, par suite de dispositions vicieuses, les éclatements au choc se produisaient avant que le projectile ne fût enfoncé suffisamment dans le sol, et les essais contre les terres n'eurent rien de remarquable; d'autre part, dans le tir contre les hommes, on reprochait à la dynamite de pulvériser l'obus. Jusqu'en 1884, la question fut laissée de côté et ne fut reprise que quand les résultats obtenus en Angleterre et en Prusse provoquèrent de nouvelles études, et conduisirent chez nous à l'adoption de la *mélinite*.

§ 83. **Essais exécutés par les puissances étrangères; comparaison avec la mélinite.** — En Angleterre, on avait, dès 1868, lancé avec succès des bombes chargées de fulmicoton; mais la même substance employée dans des obus oblongs lancés par les canons rayés, avait donné des éclatements dans l'âme et mis plusieurs pièces hors de service.

Sur la proposition de M. Abel, la Commission des substances explosives expérimenta, en 1873, des obus de campagne de 16 livres (7^{kg},26) remplis d'eau et contenant une charge de 28^{gr},3 de coton-poudre; on les tira comparativement à des obus de même

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

calibre chargés de 36gr,8 de poudre ordinaire, ou de 28gr,5 de poudre au picrate. Il ne se produisit aucun éclatement prématuré; le chargement en eau et fulmicoton donna contre les hommes des résultats bien supérieurs à ceux de la poudre; les effets de la poudre au picrate furent jugés égaux à ceux produits par la poudre ordinaire, malgré la différence de poids des charges. Mais dans les terres et les maçonneries les effets des poudres vives étaient insignifiants.

Les essais furent étendus au calibre de 9 pouces, et cette fois on employa du fulmicoton comprimé en pâte et imbibé d'eau, avec cartouche de coton-poudre sec. Les expériences réussirent alors pleinement, aussi bien au point de vue de la sécurité contre les éclatements prématurés que sous le rapport de la puissance des effets produits. Le chargement en coton-poudre humide fut adopté vers 1877; mais on le considérait comme exceptionnel, et on ne fit aucun essai avec des obus de rupture.

En 1884, Abel essaya, pour des obus de 6 livres tirés à 610 mètres de vitesse initiale dans un canon Nordenfeldt, une charge intérieure de gélatine explosive camphrée; on ne remarqua aucun éclatement prématuré. Mais quand on renouvela ces essais à Lydd, en 1885, sur des obus lancés par l'obusier de 8 pouces, la charge de gélatine explosive détona dans l'âme et brisa la pièce.

Quoi qu'il en soit, dans le bombardement d'Alexandrie, les Anglais ne lancèrent que des obus chargés à poudre; et il ne semble pas que, jusqu'à ces derniers temps, l'emploi de matières explosives spéciales ait été rendu réglementaire chez eux.

En Russie, aux États-Unis, on essaya depuis 1880 des obus chargés de gélatine explosive; en Italie, notamment, on expérimenta des obus fougasse de 22 centimètres. Il paraîtrait qu'en Italie et en Russie, ces expériences ont conduit à adopter ce chargement pour l'artillerie navale.

Aux États-Unis les propositions faites par le lieutenant Zalinski pour lancer des obus à dynamite par l'air comprimé, n'ont d'abord donné que de faibles portées et une justesse très médiocre. Mais dans des expériences toutes récentes tentées avec un canon pneumatique de gros calibre, on a pu lancer à une distance supérieure à un mille, et avec précision, des projectiles chargés de 200 livres de dynamite. Il y a là en perspective une révolution dans les conditions de la guerre maritime.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En Allemagne, des expériences furent commencées dès 1872 ; à Cologne avec le lithofracteur, à Spandau avec la dualine. Les essais furent insignifiants ; mais ils montrèrent la possibilité de lancer ces matières réputées dangereuses même dans des obus divers animés d'une grande vitesse.

Depuis 1883, des expériences ont été entreprises sur *l'hellhoffite*.

C'est, comme nous l'avons dit § 65 et 77, un mélange de binitrobenzine et d'acide azotique. Les projectiles essayés présentaient deux cavités séparées par une cloison mince assez fragile pour se rompre au départ du projectile ; l'un des compartiments contenait la binitrobenzine, l'autre l'acide azotique. L'obus est ainsi chargé de deux substances parfaitement stables et inoffensives, qui ne se réunissent qu'au départ du coup, sont mélangées intérieurement par la rotation du projectile et font explosion au moment du choc sous l'influence d'une amorce au fulminate.

Des essais analogues furent exécutés à Washington, en substituant à la cloison fragile un diaphragme percé d'un trou qu'un mécanisme spécial débouchait pendant le trajet du projectile dans l'air. Les effets d'éclatement furent remarquables ; il ne se produisit pas d'explosion prématurée ; mais la complication que présente ce système le rend peu susceptible d'être appliqué sur une grande échelle.

Dès 1883, M. Foerster, directeur de la fabrique de coton-poudre de Walsrode, en Hanovre, avait proposé des projectiles chargés au coton-poudre comprimé humide. Dans ses premiers essais, le coton était placé en rondelles comprimées à l'intérieur de l'obus, dont l'ogive se dévissait ; les rondelles étaient percées à leur centre d'un canal cylindrique destiné à recevoir la charge de coton-poudre sec ; l'amorce de fulminate était placée dans la fusée. Pour conserver l'humidité du coton-poudre, M. Foerster trempait ses rondelles dans l'éther ou dans la nitrobenzine ; il les recouvrait ainsi d'une couche mince sensiblement imperméable, et dont la combustibilité était sans danger à cause de sa minceur. Ces rondelles étaient ensuite entourées de papier, et trempées dans la paraffine qui constituait un deuxième vernis imperméable.

On expérimenta, en 1884, un second procédé consistant à découper les rondelles de coton-poudre comprimé humide en grains prismatiques dont on remplissait l'obus ; tous les interstices

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

étaient comblés par une addition de paraffine à 60°. Un mandrin ménageait pendant cette opération un vide cylindrique au sommet de la charge. Dans ce vide on introduisait, au moment du tir, l'amorce de coton-poudre sec entourée d'une enveloppe cylindrique en caoutchouc; enfin on vissait au-dessus de cette amorce la fusée spéciale contenant une charge convenable de fulminate de mercure.

Les essais furent d'abord exécutés avec des obus d'un calibre de $8^{cm},7$ tirés à 450 mètres de vitesse; ils furent étendus ensuite à des obus pesant 27^{kg}, et tirés par le canon court de $15^{cm},5$ avec une vitesse de 200 à 250^{m}, puis par le canon long de même calibre avec une vitesse de 450^{m}. Les résultats furent tout à fait remarquables. Il n'y eut aucun éclatement prématuré, tous les obus éclatèrent au premier point de chute; le détonateur fonctionna convenablement.

L'obus de 8^{cm}, dont le poids est $6^{kg},640$, produisait 23 gros éclats pesant ensemble $2^{kg},260$, et 127 petits formant un poids de $2^{kg},865$.

L'obus de 15^{cm} pesant 27^{kg} donnait 376 éclats d'un poids supérieur à 10^{gr}, et 828 éclats de 1 à 10^{gr}. Des éclats pesant moins de 1^{gr} traversèrent des planches de 25^{mm}.

Un projectile de 15^{cm} produisait un entonnoir de 4^{m} de diamètre sur $1^{m},30$ de profondeur, fournissant un déblai de $7^{m\cdot cub.}$. Une charge de 16^{kg} donna un entonnoir de $5^{m},10$ de large, $1^{m},56$ de profondeur et un déblai de $12^{m\cdot cub.}$.

L'artillerie prussienne étendit ces essais au calibre de 21^{cm} et à ses canons de marine. Un parapet de 2^{m} de haut composé de 10^{m} de sable contenu par deux murs de 1^{m} d'épaisseur chacun, fut, près de Kiel, complètement désorganisé par une salve électrique de six canons de 21^{cm} d'une frégate cuirassée. La charge explosive de ces projectiles était en coton-poudre humide.

Pour le mortier de 21^{cm}, l'artillerie de terre a adopté des obus présentant 5 et 6 calibres de longueur, et recevant respectivement des charges de 19^{kg} et de 26^{kg}. L'obus est formé de deux parties; l'ogive, très aplatie, se visse sur le corps du projectile; l'ensemble est en acier à parois minces. La charge est renfermée dans un cylindre en tôle de faible épaisseur ou en zinc. Elle se compose de rondelles de coton-poudre comprimé, imbibé de 15 p. 100 d'eau, empilées les unes sur les autres; chaque rondelle a une épaisseur de 5^{cm}. La rondelle supérieure présente

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une cavité cylindrique destinée à recevoir l'amorce de coton-poudre sec. Tous les interstices entre les rondelles sont remplis par de la paraffine, de façon à ne laisser aucun vide.

Pendant les transports, le projectile est fermé par un tampon vissé; un mandrin remplit la cavité de la rondelle supérieure. Au moment du tir le tampon est remplacé par un détonateur spécial, au-dessous duquel on place la charge de coton-poudre sec et son amorce de fulminate. Les projectiles de l'espèce ont été rendus réglementaires et produisent des effets très remarquables.

Les projectiles de 5 calibres, contenant 19^{kg} de charge, traversent une voûte en bonne maçonnerie épaisse de 1^{m}, recouverte d'une chappe en ciment de 0^{m},80 avec une couche de terre de 1^{m} à 1^{m},50.

Les projectiles de 6 calibres portant 26^{kg} de charge traversent, à 4.000^{m}, une voûte semblable recouverte d'une épaisseur de terre de 3^{m}. Avec une épaisseur de 5^{m} de terre, la voûte résiste.

Les entonnoirs produits par ces obus dans les terres ont 4^{m},80 de diamètre, 2^{m},20 de profondeur, et ils fournissent un déblai de 15 mètres cubes.

C'est à ces obus que l'artillerie française a répondu en adoptant des projectiles chargés à la mélinite (§ 62), dont les effets sont équivalents sinon supérieurs.

Nous devons nous abstenir de donner aucun détail sur la composition de cette substance. Rappelons seulement les expériences de la Malmaison, de la Fère et de Bourges. On se servait d'obus lancés par un mortier de 220^{mm}. Aucune casemate, aucune tourelle ne put résister à un tir vertical; pas une muraille ne fut capable de supporter un tir de plein fouet. Avec un seul obus on bouleversa de fond en comble un magasin à poudre. Au commencement des essais un projectile éclata dans la pièce. Celle-ci était en acier, presque neuve et en parfait état; elle fut pulvérisée, et de menus éclats furent retrouvés à une distance de 1.200^{m}.

Ce qui caractérise la mélinite, c'est la destruction complète de l'obus, qui se trouve pour ainsi dire pulvérisé. Aussi tout ce qui est placé dans le voisinage est atteint. Dans des expériences faites récemment contre la coque d'un vieux cuirassé, avec des obus de 14^{cm} chargés de cette substance, une planche avait été destinée à représenter un homme; elle a été coupée à 0^{m},30 des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pieds ; mais sur cette longueur on comptait cinquante-quatre blessures. Un tuyau de porte-voix placé à proximité a reçu vingt trous par mètre courant. L'obus était divisé en éclats qui en moyenne ne pesaient pas 5^{gr}.

Voici en outre un fait assez remarquable. Des projectiles lancés contre l'arrière du navire ont éclaté entre le pont de la batterie et celui des gaillards, et n'ont crevé ni l'un ni l'autre. Mais dans le réduit on a posé deux obus qu'on a fait éclater électriquement ; et l'explosion a produit dans le pont de la batterie un trou béant de $0^{m},50$ de diamètre ; les profondeurs du navire ont été ravagées ; le pont des gaillards a été soulevé et un peu crevé. Il y a là une différence d'effets qui tendrait à faire croire que les explosions produites par le choc sont incomplètes.

Six feuilles de tôle de 1^{cm} ont été disposées sur le pont des gaillards, et par-dessus on a couché un obus que l'on a fait exploser. Les six tôles ont été crevées, mais la dernière ne présentait qu'une mince fissure. Tout le pont environnant avait subi une forte dépression et deux barrotins avaient été brisés.

La mélinite peut donner lieu à des accidents. C'est ainsi qu'à la fin des dernières expériences que nous venons de citer, un obus a éclaté dans la pièce destinée au tir, qui a fait elle-même explosion. C'était un canon de 14^{cm}, M^{le} 1881, tirant un obus de 30^{kg} avec la charge énorme de 13^{kg}. Le canon s'est brisé immédiatement après le renfort ; mais la volée ne s'est pas détachée suivant une ligne de moindre résistance, comme on le remarque dans de pareils cas. Elle a été projetée en de nombreux morceaux, et la brisure au tronçon affectait la forme tourmentée qui dénote une explosion violente.

Cet accident peut se produire quand un peu de la graisse destinée à lubréfier les filets du bouchon de fermeture pénètre à l'intérieur de l'obus. Suivant M. Berthelot, il y aurait, en pareil cas, production d'un corps nouveau très instable, comme dans l'explosion survenue à l'arsenal de Belfort en 1886.

§ 84. **Applications industrielles des explosifs.** — Les explosifs ne sont pas utilisés seulement pour la guerre, ils rendent encore aux ingénieurs d'immenses services ; et la dynamite est fort employée pour le percement des tunnels, des canaux, l'amélioration des ports, etc. Citons le tunnel du St-Gothard,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui a été percé à la dynamite dans des roches granitiques. Pour les 15 kilom. qui forment la longueur du tunnel, on a employé 1.500.000^{kg} de dynamite.

Notons encore la destruction du récif de Hell-Gate à l'entrée du port de New-York. Le général Newton, qui dirigeait ces travaux, a détruit là un banc de rocher présentant plus d'un hectare de superficie, au moyen de 22.600^{kg} de dynamite, de vulcan-power et d'autres agents explosifs. Il fallut huit ans pour préparer les galeries et les trous; la destruction s'opéra instantanément et l'on passa huit ans à draguer les débris. Chaque gramme de substance explosive a brisé 6^{kg} de roche dure; et les 500.000$^{m.\ cub.}$ qui formaient le récif ont coûté 10 millions. Soit environ 200^{fr} par mètre cube.

A Boulogne, une coque de navire incendié, qui obstruait le port, a été détruite par la dynamite.

Les applications de ce genre se multiplient tous les jours, et c'est par millions qu'il faut compter le nombre de kilogrammes de dynamite employés annuellement de cette façon.

Ces considérations nous ont un peu éloignés du cadre de notre ouvrage; mais nous ne pouvions parler des explosifs sans citer les applications les plus importantes qu'ils ont reçues, d'autant plus que ces questions ne sont pas, comme on le voit, étrangères à la marine.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TROISIÈME PARTIE[1]

CANONS

3E PIE. — CHAPITRE I

CONSTRUCTION DES CANONS

§ 85. **Résistance d'un canon.** — La production des gaz donne lieu dans l'intérieur d'un canon à deux effets différents :

1° Une pression qui tend à l'ouvrir suivant les génératrices de l'âme ;

2° Une pression qui s'exerce sur le fond et produit le déculassement.

C'est la pression suivant les génératrices qui fait éclater la pièce. Barlow a formulé cette action de la manière suivante :

Quand on produit une pression dans l'intérieur d'un cylindre creux, l'effort de distension exercé sur les molécules dans chaque couche concentrique des parois est en raison inverse du carré de leur distance à l'axe.

Si donc la pression est, par exemple, de 2.400 kilogrammes par centimètre carré sur la paroi de l'âme, c'est-à-dire à la distance de 1/2 calibre, on aura :

$\frac{2.400}{4} = 600^{kg}$ à la profondeur de 0,5 calibre.

$\frac{2\,400}{9} = 266$ id. de 1,0 »

$\frac{2.400}{16} = 150$ id. de 1,5 »

$\frac{2.400}{25} = 96$ id. de 2,0 »

(1) Nous avons consulté, pour cette partie, le *Mémorial de l'artillerie de marine* et la *Revue d'artillerie de terre*, ainsi que des travaux de MM. E. Mathieu et C. Gadaud, capitaines de vaisseau ; E. Farret, lieutenant de vaisseau ; H. Portay, officier mécanicien ; etc., etc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On voit donc qu'à partir de 1 calibre 1/2, les couches intérieures ne supportent que des efforts très faibles et ne concourent plus à la résistance du canon ; quand on a donné aux parois une épaisseur de 1 calibre 1/2, il devient inutile d'augmenter l'épaisseur.

Pour représenter cette loi d'une manière graphique, élevons en chaque point *a* du diamètre AB (fig. 23) une ordonnée *at* proportionnelle à la tension de la couche circulaire passant par le point *a*. La courbe T*t*T′ ainsi obtenue s'abaisse rapidement sans jamais rencontrer l'axe des abscisses. La résistance totale opposée par la bouche à feu à la pression intérieure des gaz est mesurée par l'aire de cette courbe limitée aux deux ordonnées qui correspondent à l'épaisseur. En effet, la fibre circulaire dont l'épaisseur est *ab* peut être assimilée à un barreau rectiligne travaillant par extension, et soumis par millimètre de section à un effort proportionnel à l'ordonnée *at ;* elle est dans le même état que si elle supportait un poids représenté par $ab \times at$. Ce produit mesure la résistance que la fibre oppose par réaction. C'est la surface du rectangle ayant *ab* pour base et *at* pour hauteur, et qu'on peut remplacer par le trapèze *abtt′*, sans erreur sensible. Ainsi la somme des résistances élémentaires est représentée par la surface AT″T′B.

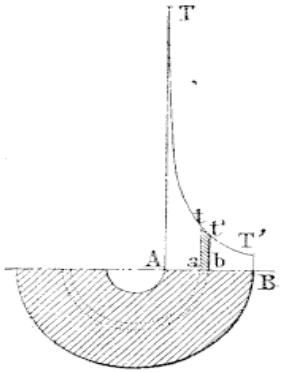


Fig. 23.

Si l'effort AT dépasse la limite de ténacité du métal, les couches intérieures se rompront ; et les gaz s'introduisant dans la fissure à la façon d'un coin, la rupture se propagera jusqu'au dehors.

Si l'ordonnée initiale AT correspond à la limite de ténacité du métal, l'aire de la courbe représente le travail maximum moléculaire que peut produire la bouche à feu sans se rompre ; et l'on voit qu'à partir d'une certaine valeur, qui n'est pas très grande, un surcroît, même considérable dans l'épaisseur, n'augmente pas sensiblement la résistance. La figure montre que l'aire de la courbe a une limite : à un calibre donné correspond une limite de résistance.

Pour obtenir une grande résistance, il faut donc recourir à un autre moyen ; et l'on a songé à composer les canons de plusieurs pièces assemblées de manière à concourir ensemble à la solidité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Prenons un premier cylindre creux, à l'état d'équilibre moléculaire ; et introduisons-le dans un second cylindre présentant un diamètre intérieur plus petit que le diamètre extérieur du premier.

Pour effectuer l'emboîtage, dilatons le second cylindre par la chaleur. Le refroidissement produira un serrage ; les molécules du cylindre intérieur seront comprimées ; celles du cylindre extérieur seront distendues. Si maintenant on vient exercer une pression dans l'intérieur de cet assemblage, les molécules du cylindre intérieur, partant de l'état de compression, exigeront pour se distendre une force plus considérable que si elles étaient parties de l'état d'équilibre.

Le cylindre extérieur, dont les molécules sont distendues, est placé, il est vrai, dans des conditions de résistance inférieures à celles qu'il aurait eues à l'état d'équilibre moléculaire ; mais on comprend qu'on puisse régler le serrage de manière à laisser à cette pièce une latitude suffisante pour son expansion avant la rupture.

La loi de répartition des efforts n'est plus représentée par la courbe TtT′ (fig. 23), mais par une ligne brisée MPT (fig. 23 *bis*). La surface totale est la même ; mais l'ordonnée maxima est moindre, car elle représente alors la différence entre la pression de la poudre et l'effort de contraction exercé par le cylindre extérieur.

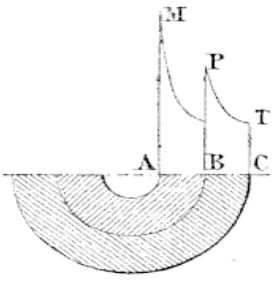


Fig. 23 *bis*.

Dans la construction des bouches à feu puissantes, il faut donc, comme on le voit, chercher à mettre à l'état de compression les molécules des couches voisines de l'âme qui supportent presque tout l'effort. C'est en se basant sur ces considérations qu'on a imaginé le *tubage* et le *frettage* des canons.

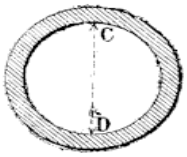
Ces opérations exigent d'abord la connaissance des pressions que doivent supporter les différentes couches des parois, afin de calculer le serrage d'après l'élasticité des métaux employés.

Avant d'entrer dans cette étude, rappelons les définitions suivantes :

Quand deux tubes AB, CD (fig. 24) sont préparés pour être serrés l'un sur l'autre, le diamètre extérieur AB du tube enve-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

loppé est plus grand que le diamètre intérieur CD du tube enveloppant, la différence AB — CD mesurée à froid donne le *serrage*. Le tube CD a été chauffé pour recevoir AB ; en se refroidissant, il se contracte sans revenir à son premier diamètre ; l'augmentation que conserve le diamètre CD se nomme la *tension*, et la *compression* est la diminution subie par AB. La somme de la tension et de la diminution est égale au serrage.



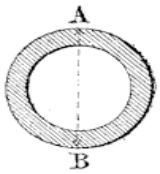


Fig. 24.

§ 86. **Frettage.** — Le frettage sert surtout à résister à l'effort transversal. Son épaisseur dépend des pressions à supporter. En outre, comme l'on emploie aujourd'hui des poudres lentes, la pression maximum ne se produit plus au départ, mais après que le projectile a déjà parcouru une partie de sa course ; la longueur de la portion frettée doit s'augmenter en conséquence. Dans les gros calibres, les frettes s'étendent fort loin. Le Krupp de 100 tonnes est fretté jusqu'à la bouche.

Les anciens canons de fonte étaient cerclés, mais uniquement dans le but de retenir les éclats de la pièce si elle venait à se briser. C'est en 1859 que le frettage de la fonte à l'acier puddlé a été rendu réglementaire ; mais ce n'est que dans le modèle 1864 que ce système a été employé d'une manière rationnelle pour augmenter la résistance de la pièce par le serrage.

§ 87. **Tubage.** — D'après les considérations que nous venons d'exposer, le tubage résiste à la pression transversale ; mais il sert aussi à combattre l'effort longitudinal.

Dans l'artillerie moderne, le déculassement est peu à craindre ; car la dilatation des parois intérieures de l'âme n'est pas gênée du côté de la culasse comme dans les canons d'un seul bloc. En outre, l'écrou de culasse est placé fort en arrière, à un endroit où le choc du gaz ne dilate plus la pièce.

Nous décrirons plus loin les différents modèles de canons et les systèmes adoptés pour le frettage et le tubage suivant les métaux qui entrent dans leur composition.

§ 88. **Tracé de la chambre.** — C'est dans la chambre que vient se placer la gargousse ; aussi le tracé de cette partie présente-t-elle un grand intérêt. Le volume qu'occupe la gar-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gousse par rapport au volume total de la chambre est une donnée importante. Le rapport du premier de ces volumes au second est ce que l'on appelle la *densité de chargement* (§ 44).

Avec les poudres vives, on tend à avoir une densité de chargement relativement faible, ordinairement peu inférieure à l'unité, afin que les gaz brûlés dans un temps très court trouvent immédiatement un espace pour se détendre et ne déterminent pas au premier instant une pression trop forte.

Avec les poudres lentes, qui ne développent pas au premier moment un effort aussi considérable, il y a au contraire avantage à ne pas prendre une densité de chargement trop faible et à se rapprocher de l'unité, afin de ne rien perdre de la détente des gaz. Ce que l'on cherche actuellement, c'est à augmenter les vitesses initiales sans accroître les pressions, de façon à avoir des canons légers présentant une résistance suffisante.

On essaya d'abord d'accroître la densité de chargement en prenant des gargousses de poudres comprimées ; mais l'expérience montra qu'on pouvait adopter une charge plus forte, à condition de diminuer la densité de chargement et de s'en tenir à un chiffre voisin de l'unité. Un accroissement de vitesse correspond alors à une diminution de pression.

On se trouvait ainsi amené à agrandir la chambre. Mais cette augmentation de volume peut se faire en opérant, soit sur la longueur, soit sur le diamètre. En accroissant le diamètre, on fait varier plus rapidement les dimensions de la chambre, et l'on peut conserver toute sa longueur à la partie rayée. C'est là un avantage, surtout avec les poudres lentes ; car l'action des gaz s'exerçant pendant plus longtemps, l'énergie du projectile se trouve augmentée. Le grand diamètre de la chambre a encore l'avantage suivant : lorsque les rayures ont été abîmées par les érosions, on peut forer une seconde fois l'intérieur du canon et introduire ainsi un nouveau tube qui permet de prolonger le service de la bouche à feu.

Les partisans des chambres de faible diamètre et de grande longueur prétendent que le chambrage alourdit considérablement les canons. Il oblige à renforcer les pièces ; et avec même poids de métal on pourrait d'après eux avoir des canons plus longs et d'une portée plus considérable, plus forts et plus légers. Mais il n'est pas possible d'adopter ces chambre longues, à cause

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des pressions d'ondulation qui se produisent avec les poudres actuellement en service et les fortes charges, dès que l'on donne aux chambres une trop grande longueur par rapport au diamètre. C'est là un fait encore inexpliqué, mais empêchant d'augmenter outre mesure la longueur des chambres, qui ne doit guère dépasser 5 ou 5 fois 1/2 le diamètre.

Le *chambrage*, c'est-à-dire l'augmentation de diamètre de la chambre, reste donc la seule solution pratique, lorsqu'on veut accroître sa capacité. C'est le mode de traçage qui permet de brûler les charges dans les conditions les plus favorables.

MÉTAUX EMPLOYÉS

§ 89. **Conditions à remplir.** — Un métal destiné à la fabrication des bouches à feu doit d'abord être dur, pour qu'il ne s'use pas par le frottement du projectile. Il faut qu'il présente en même temps assez d'élasticité pour reprendre sa forme primitive, dès que les gaz ont cessé d'agir. Enfin, il doit posséder une certaine malléabilité entre les limites d'élasticité et de rupture, afin qu'un effort anormal ou un défaut accidentel de résistance puisse s'accuser par des déformations permanentes, mais sans éclatement. L'effort maximum déterminé dans l'âme par la pression du gaz doit être au plus égal à la *limite d'élasticité* du métal. Le *coefficient de sécurité* est déterminé par l'écart qui sépare la limite d'élasticité et celle de rupture.

Les métaux employés pour la fabrication des bouches à feu sont : le bronze, la fonte, le fer forgé et l'acier.

§ 90. **Bronze.** — Le bronze est un alliage de cuivre et d'étain dans des proportions variables. L'ancien bronze réglementaire contenait 10 p. 100 environ d'étain. L'alliage formé est plus dur que chacun des métaux entrant dans sa composition; sa température de fusion (900°) est intermédiaire entre celle de l'étain (235°) et celle du cuivre (1100°). Sa limite d'élasticité, 12^{kg} par millimètre carré, est éloignée de la limite de rupture 24^{kg}; il se fissure et n'éclate pas. Il offre donc une grande sécurité qui l'a fait employer longtemps pour les pièces de petit calibre. Mais les déformations qu'il subit sous des pressions moyennes l'ont fait rejeter pour l'artillerie puissante.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

D'ailleurs le prix en est élevé ; ainsi une bouche à feu en bronze revient à 4.750^{f} la tonne. Enfin, il est difficile d'obtenir un métal parfaitement homogène. Dans le four à fusion et dans le moule il se produit des différences de composition entre les diverses parties d'une pièce.

§ 91. **Bronze mandriné ou bronze-acier.** — Les procédés nouveaux de fabrication du général Uchatius en Autriche, imités par le général Lavrof en Russie, ont donné au bronze des qualités qui le rendent plus propre à satisfaire aux exigences de l'artillerie moderne.

L'alliage comporte 92 p. 100 de cuivre, 8 p. 100 d'étain, avec une addition de quelques millièmes de phosphore. Le coulage *en coquille* donne au métal plus d'homogénéité.

La pièce, forée à un diamètre inférieur au calibre normal, est amenée à son calibre définitif par le passage successif dans l'âme, au moyen d'une presse hydraulique, de mandrins ayant des diamètres graduellement croissants. On augmente ainsi l'élasticité des couches intérieures, pendant que les couches extérieures sont mises dans un état de tension permanente, ce qui leur permet de participer plus efficacement à la résistance du canon.

Le bronze Uchatius est appelé *bronze-acier*. On ne construit plus de canons de 65^{mm} et de 90^{mm} en bronze-acier; la main-d'œuvre en est trop difficile, et d'autre part l'usure de l'âme est rapide quand on dépasse 400^{m} de vitesse initiale. L'acier en masse peu épaisse pour des canons de petit calibre ne coûte pas plus cher que le bronze, et le travail en est plus facile.

§ 92. **Bronze phosphoreux.** — A la fonderie de Spandau on a eu l'idée d'ajouter du phosphore dans l'alliage du cuivre et de l'étain. Le phosphore en général rend les métaux aigres et cassants. Mais il agit différemment pour le bronze, dont il augmente la résistance et la dureté. Des expériences ont été faites à ce sujet en Angleterre, en Belgique, en Prusse. A Londres, on a trouvé que la résistance à la rupture, après addition de phosphore serait de 40^{kg} au lieu de 24. Ce procédé pourrait permettre d'utiliser le vieux matériel en bronze.

§ 93. **Bronze de manganèse.** — Dans le même but que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ci-dessus, Parsons a ajouté du manganèse au bronze fondu. D'après lui, le bronze-manganèse forgé aurait une résistance peu inférieure à celle des aciers doux.

§ 94. **Métal Sterro**. — Cet alliage, qui a été imaginé en Autriche, a la composition suivante :

Cuivre	53,04
Zinc	42,36
Fer	1,77
Étain	0,83

Le métal résultant a une grande élasticité; on a proposé de l'employer à l'intérieur de la grosse artillerie : par-dessus ce tube de métal Sterro on forcerait une enveloppe en fer.

§ 95. **Fonte**. — Le grand avantage de la fonte est la rapidité et la facilité de sa fabrication ainsi que son prix de revient ; un canon en fonte coûte seulement 525^{f} par tonne. Mais ce métal présente un inconvénient très grave, c'est la faiblesse et l'inégalité de sa résistance.

Les meilleures fontes de Ruelle ont pour limite d'élasticité 15 à 18^{kg} par millimètre carré, et 23^{kg} par millimètre carré comme limite de rupture.

La fonte a pu convenir lorsqu'on ne développait dans les pièces que des efforts peu considérables. Mais l'apparition de l'artillerie rayée a changé ces conditions ; il n'a plus été possible de faire usage de la fonte seule, et l'on a dû la consolider par des frettes et des tubes d'acier. Un travail remarquable de M. le général Virgile témoigne du surcroît de résistance résultant de ces combinaisons. Les canons en fonte de Ruelle, sans frettes ni tubes, présentent une résistance de 700^{kg} par centimètre carré de la surface de l'âme. Les canons, à un seul rang de frettes, de même provenance, vont jusqu'à 1.360^{kg}.

Les canons, à deux rangs de frettes, pour un même travail de la fonte et des frettes, offrent une résistance de 2.017^{kg}.

Enfin, dans ces mêmes canons tubés, la résistance s'élève à 3.230^{kg}, c'est-à-dire à quatre fois celle des canons construits avec la fonte seule.

§ 96. **Fer forgé**. — Le fer forgé seul ne peut servir à consti-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tuer le corps d'un canon puissant, à cause de son manque d'élasticité. Sa limite d'élasticité est 17^{kg} et sa limite de rupture 34^{kg}. En outre, il est difficile d'obtenir ce métal en grandes masses sans défauts graves dans sa contexture ; et la fabrication en est longue et coûteuse. Le fer possède une grande ténacité, aussi l'emploie-t-on pour les enveloppes extérieures, réservant l'acier pour le tube intérieur.

§ 97. **Acier.** — L'acier est le métal qui remplit de la manière la plus satisfaisante les conditions nécessaires à la fabrication des canons. Sa limite d'élasticité varie de 25 à 55^{kg} par millimètre carré, et sa limite de rupture de 50 à 80^{kg}, suivant la quantité de carbone qu'il contient.

Après la guerre de 1870, quand on eut à reconstituer tout le matériel d'artillerie, on entreprit au Creusot des expériences sur les canons d'acier, et l'on reconnut que les aciers les plus faibles présentaient une immense supériorité sur le bronze ; enfin on constata que le frettage en acier puddlé, plus dur que le métal à canons, donnait une grande sécurité contre la rupture.

Moins fusible que la fonte, l'acier peut se forger et se souder à lui-même. La trempe à l'huile donne au métal plus de dureté, plus de résistance à la rupture, et le rend moins cassant que la trempe à l'eau. On peut porter la limite d'élasticité de l'acier trempé à l'huile à 39^{kg}, et sa limite de rupture à 60^{kg}.

L'acier est obtenu de différentes façons. Nous allons les rappeler en quelques mots.

§ 98. **Acier puddlé.** — L'acier puddlé est produit en décarburant la fonte, qu'on mélange à des agents oxydants et qu'on élève à une haute température. Un brassage énergique dans un courant d'air brûle une partie du carbone, et le reste demeure dans le métal.

On le martèle au marteau-pilon, pour enlever les scories et rendre le bloc homogène.

§ 99. **Acier de cémentation.** — L'acier de cémentation s'obtient en plaçant dans un four à réverbère des barres de fer par couches alternatives avec du charbon de bois. Au rouge vif, le fer se carbure et devient de l'acier. Le métal est ensuite fondu dans des creusets, avec addition de manganèse, qui augmente la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

charge de rupture, rend la trempe plus vive, et agit en même temps comme agent d'épuration et de désoxydation.

L'acier de cémentation sert en général pour les organes délicats.

§ 100. **Acier fondu.** — L'*acier fondu* se fabrique soit au convertisseur Bessemer; soit par le procédé Martin, avec le four Siemens ou le four Pernod. Le principe de cette fabrication consiste à mélanger, à une très haute température, du fer et de la fonte.

On obtient ainsi un fer fondu plus ou moins oxydé, dans lequel on ajoute une fonte manganésifère contenant environ 10 p. 100 de manganèse; l'oxyde de fer est réduit par le manganèse qui passe dans les laitiers.

L'acier coulé n'est pas homogène ; il contient des impuretés et des soufflures. Pour y remédier, on emploie généralement le forgeage. On peut se servir aussi de la compression du métal à l'état liquide. Aussitôt après la coulée, le métal liquide est comprimé dans la lingotière par une presse hydraulique; les soufflures et les scories viennent à la surface.

§ 101. **Acier à canons.** — Les diverses parties d'une bouche à feu ne travaillant pas toutes de la même façon, exigent l'emploi de métaux de qualités diverses.

Le tube du canon, qui reçoit directement le choc, doit être en même temps résistant et élastique. Un acier trop dur se briserait facilement et serait exposé aux érosions. Un acier trop doux résisterait imparfaitement, donnerait des déformations permanentes, et de plus s'écraserait dans la partie arrière filetée qui forme l'écrou de culasse. On choisit en général pour les tubes un acier demi-doux.

Les frettes qui renforcent le corps du canon doivent, tout en présentant une grande résistance, se montrer assez élastiques. Elles sont, en général, d'un acier identique à celui du tube.

Enfin la vis de culasse, dont les filets exigent une dureté considérable, demande un métal plus résistant.

L'acier Bessemer est presque complètement éliminé comme acier à canon. On ne peut obtenir que des quantités limitées de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ce métal à chaque opération ; de plus on ne sait jamais exactement à quel degré de décarburation on s'arrête. Il en résulte un produit d'une composition mal déterminée, et qui peut varier sensiblement d'une opération à l'autre.

En France, on emploie presque uniquement l'acier Martin-Siemens, que les usines du bassin de la Loire, en particulier, sont arrivées à fabriquer avec une grande perfection.

Au début, on avait fait usage de matières premières de qualité moyenne ; en outre, la disposition du four rendait assez difficile la fabrication d'un métal homogène. Mais actuellement, depuis que l'on a obtenu dans les fours une atmosphère *absolument* neutre, le procédé qui nous occupe permet de produire, en très grandes masses, un acier d'une composition tout-à-fait déterminée, puisqu'à la suite des prises d'essai on règle la décarburation suivant qu'il en est besoin.

Il faut remarquer encore que la qualité du produit final dépend surtout des manipulations que reçoit le lingot après la coulée. L'acier coulé présente toujours, après refroidissement, une structure cristalline plus ou moins accentuée, qui nuit beaucoup à sa résistance et à son élasticité. Le travail de l'acier doit tendre à rendre le métal amorphe.

Le lingot destiné à faire le tube subit un réchauffage, qui annule une partie des tensions irrégulières résultant du refroidissement après coulée ; puis il est martelé énergiquement au marteau-pilon, pour donner de la cohésion au métal et faire disparaître les soufflures. Le tube est ensuite foré et tourné, puis recuit avec soin. Ce recuit est suivi d'une trempe à l'huile destinée à maintenir le métal à l'état amorphe dans lequel il se trouvait pendant le recuit.

La trempe est faite à l'huile. Cette opération exécutée à l'eau donnerait un métal trop dur et trop difficile à travailler.

Après la trempe, un recuit amène les molécules au degré de tension voulu. C'est seulement lorsque le métal du tube a été amélioré de la sorte, que l'on procède au finissage, tournage définitif, alésage et rayage.

Les frettes et les pièces de culasse subissent de même la trempe à l'huile et le recuit.

§ 102. **Acier coulé sans soufflures.** — Le forgeage d'un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

gros lingot d'acier est une opération très délicate et coûteuse, qui exige une installation dispendieuse. Il est difficile de maintenir le bloc au degré de température voulu et d'arrêter à temps le martelage. Aussi M. Euverte, directeur de Terre-Noire, a-t-il cherché à remplacer ce travail par une action chimique. Il admet que les soufflures sont dues à des bulles d'oxyde de carbone, provenant de la réaction de l'oxyde de fer sur le carbone de l'acier ; et pour les détruire, il ajoute dans le bain, à la fin de l'opération, une dose convenable de fonte siliceuse et manganésée. Le silicium s'empare de l'oxygène de l'oxyde de carbone ; et il se forme un silicate de fer, qui est entraîné dans les scories rendues très fluides par le manganèse. On obtiendrait ainsi un acier sans soufflures, qui, après un simple recuit, présenterait une ténacité égale à celle des aciers fondus martelés. Cette opinion n'est pas partagée par tous les métallurgistes ; et, jusqu'à présent, l'acier de Terre-Noire n'est employé dans la marine que pour la fabrication des projectiles.

Des études se poursuivent dans cette voie ; et certes le programme est fort engageant, car ce procédé permettrait de produire économiquement le métal à canons.

§ 103. **Fonte et fer forgé**. — 1° SYSTÈME PARROTT. Le fer forgé et la fonte peuvent être combinés ensemble. Dans le système de l'Américain *Parrott*, ces deux métaux sont associés de la manière suivante. Le corps en fonte est recouvert d'un manchon en fer forgé, placé à chaud avec un fort serrage. Le manchon, constitué par des barres en spirale, recouvre le corps au-dessus du logement de la charge, à l'endroit où se développent les plus fortes pressions.

2° SYSTÈME PALLISER. — Les Anglais ont transformé leurs anciens canons de fonte en canons rayés, par le procédé *Palliser*, qui consiste à introduire un tube en fer forgé, simple ou double, dans le canon alésé, et à rendre l'adhérence de la fonte et du fer complète par le tir de quelques coups à forte charge. Les canons ainsi transformés sont destinés à la défense des côtes.

§ 104. **Système Whitworth**. — Sir Whitworth est un des hommes qui ont fait faire à la métallurgie, et en particulier à la fabrication de l'acier, les progrès les plus considérables. Il a créé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

un système d'artillerie tout à fait original. Le métal qu'il emploie est un acier doux manganèsifère, obtenu par un mélange des aciers de Bessemer et de Siemens-Martin. Il est produit par la décarburation de la fonte de Suède.

En général, l'acier fondu présente des soufflures qui peuvent disparaître par le martelage. Pour donner à son métal une grande homogénéité, M. Whitworth le soumet, à l'état liquide, à l'action d'une presse hydraulique exerçant une pression de 20^{tx} par pouce carré. Une colonne d'acier subit en 5 minutes un raccourcissement de 1/24. Le métal obtenu ne rompt que sous une pression de 64^{kg} par millimètre carré. Il présente avant la rupture un allongement de 30 p. 100.

Le forgeage se fait à la presse hydraulique; le bloc d'acier devient ainsi parfaitement homogène. D'ailleurs le métal est trempé à l'huile.

Les différentes sortes d'acier qui forment les divers tubes ne reçoivent pas la même trempe. Le tube central, par exemple, doit être plus élastique que le tube suivant. Seuls les canons de petit calibre ont un corps fait d'un seul bloc; ceux de gros calibre sont formés de tubes ou manchons disposés par couches successives avec un serrage déterminé. Cette opération s'exécute avec une grande précision et au moyen de presses hydrauliques.

Avant d'être admis à faire partie d'un canon, chaque échantillon d'acier est soumis à des épreuves sévères. On prend un tube d'acier d'environ 1^{m} de long, et ayant pour diamètres à l'intérieur et à l'extérieur 19 et 32^{mm}. On le ferme hermétiquement aux deux bouts, après l'avoir rempli de poudre. Le feu est communiqué; les gaz s'échappent par la lumière. Le diamètre extérieur est ensuite mesuré et comparé à la valeur qu'il avait primitivement. En agissant sur des charges de poudre progressives, on peut se rendre compte de la résistance.

La supériorité des canons Whitworth est due à l'homogénéité du métal, à la trempe à l'huile, à l'usage de la presse hydraulique pour le forgeage et l'assemblage des tubes. Mais ce système est coûteux et exige une main-d'œuvre savante; le prix du canon est d'environ $3^{f},15$ le kilogramme.

§ 105. **Système Vavasseur.** — Ce système, employé en Angleterre, comprend un tube intérieur en acier, sur lequel sont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

emmanchés plusieurs manchons en acier, dont l'élasticité va en décroissant de l'intérieur à l'extérieur. Chaque cylindre est placé à chaud sur le précédent.

§ 106. **Système Krupp.** — M. Krupp est le créateur d'un système d'artillerie en acier. Partisan d'abord du canon formé d'un seul bloc d'acier, il a adopté, pour les gros calibres, un corps en acier entouré de frettes pareillement en acier placées à chaud. Les diverses couches sont ainsi dans un état de tension initiale. Son métal est un acier puddlé, obtenu par la décarburation partielle de la fonte, que l'on fond ensuite dans un creuset avec des morceaux d'un fer spécial provenant d'un minerai particulier : c'est là ce qui constitue le secret de l'opération.

M. Krupp fabrique ainsi les canons du plus gros calibre; il a exposé, à Philadelphie, un canon de 56 tonnes; et il vient de construire une pièce de 80 tonnes, ayant un calibre de 40^{cm}, et lançant un projectile de 750^{kg} avec 180^{kg} de poudre. Le tube d'acier de ce canon est en deux morceaux; il est recouvert par quatre anneaux en acier.

Les canons Krupp coûtent très cher. Celui de 28^{cm} vaut 200.000^{f}; celui de 24^{cm}, 110.000^{f}.

Les prix des canons de 27^{cm} et de 24^{cm}, modèle 1870, sont : 28.900^{f} et 20.200^{f}.

§ 107. **Fer forgé et acier. Système Armstrong.** — En Angleterre, où le fer forgé est plus spécialement employé, il ne forme pas directement la paroi de l'âme, excepté dans le système Palliser, dont nous avons parlé (§ 103), où le fer est combiné avec la fonte.

Dans son usine d'Elswick, près Newcastle, sir W. Armstrong emploie un mode de construction basé sur le principe suivant :

L'âme d'un canon doit résister, comme nous l'avons vu (§ 85), à la pression transversale et à l'effort longitudinal agissant sur le bloc de culasse. Or la résistance du fer forgé aux pressions qu'il subit dans le sens des fibres est double de celle qu'il présente si la pression est normale aux fibres. Armstrong, se basant sur ce fait, introduit un tube en acier doux dans une pièce de culasse en fer forgé. Le sens des fibres de cette pièce est parallèle à l'axe. Sur la pièce de culasse sont emmanchés à chaud une série

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'anneaux en fer forgé (*coils*), obtenus en tordant en spirale une barre de fer. Le sens des fibres est normal à l'axe. Les cylindres sont superposés à chaud. De la sorte les fibres sont disposées de manière à donner la meilleure résistance. En outre, la disjonction des anneaux se produit avant l'éclatement de la pièce, ce qui procure une sécurité analogue à celle du frettage.

§ 108. **Système Armstrong, modifié par Fraser.** — Le système Armstrong est compliqué, d'une pratique difficile et d'un prix élevé. Vers 1865, Fraser le simplifia de la manière suivante :

Une première barre de fer est enroulée en spirale autour d'un mandrin ; puis une seconde, de la même manière, autour de la première ; et quelquefois une troisième. L'ensemble est porté au blanc soudant et soudé au marteau. Le tube d'acier doux est inséré directement dans le manchon. Ce procédé a un inconvénient. Les diverses parties ne se trouvent plus dans un état de tension initiale favorable à la résistance.

Le système a été modifié comme il suit :

La pièce de culasse, qui avait été supprimée, a été rétablie ; elle est plus mince que dans le procédé Armstrong, et renforcée par un manchon extérieur. Le tube d'acier et les manchons sont emmanchés les uns sur les autres à chaud, et sont ainsi dans un état de tension initiale.

§ 109. **Système Schulz.** — Ce procédé, très remarquable au point de vue de la résistance, a été imaginé par un officier de notre artillerie, le regretté capitaine Schulz. La bouche à feu se compose de deux parties distinctes :

1° Un tube d'acier fretté par des fils d'acier enroulés et qui résiste à l'effort transversal ;

2° Une jaquette en fer forgé qui embrasse le tout, porte les tourillons et contient la vis-culasse. La jaquette n'a à résister qu'à l'effort longitudinal.

En 1879, trois canons de ce système existaient en France. L'artillerie anglaise a attendu plusieurs années pour suivre notre exemple ; la fonderie royale de Woolwich a livré récemment un obusier de 254^{mm} fretté en fils d'acier.

Le premier canon de ce genre qui ait été fait avait un calibre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 22^{mm} ; il se composait d'un tube d'acier de 6^{mm} d'épaisseur entouré de 12 couches superposées de fils d'acier présentant une épaisseur de 7,5^{mm}. D'intéressantes expériences eurent lieu sur sa résistance, et pour le briser, on dut recourir au fulmi-coton. Les parois ne cédèrent que sous une pression de 12.000 atmosphères, ce qui s'explique par ce fait que la résistance des fils d'acier est quatre fois plus forte que celle de l'acier même.

Avec un canon de 10^{cm} de ce système (30 calibres environ de longueur d'âme), pour lequel on avait fabriqué des projectiles de rupture, on a percé des plaques de fer de 22^{cm}.

Un canon d'essai de 9,2 pouces (23^{cm}) en fil d'acier a été expérimenté au polygone de l'arsenal de Woolwich. La pression pendant l'épreuve était de 10.236^{kg} par centimètre carré. La pièce pèse environ 25,5 tonnes et a 10^{m} de longueur. Le fil d'acier est enroulé autour du tube intérieur à partir de la culasse jusqu'aux tourillons ; il est disposé sur 78 couches. Le fil est fabriqué par longueurs de 2.195^{m}. Il est plat, et on le met en place avec une machine spéciale sous une pression de 6.300^{kg} par centimètre carré. Les différentes longueurs sont réunies ensemble par une brasure et une rivure longue de 38^{cm}. Une chemise en acier recouvre l'ensemble des couches de fils.

§ 110. **Canon des forges et chantiers de la Méditerranée (système Canet).** — Les canons des forges et chantiers de la Méditerranée, construits d'après le système Canet, sont constitués par un tube en acier, trempé à l'huile, qui s'étend sur toute la longueur. Ce tube est renforcé à l'arrière par un manchon en acier trempé et par une ou plusieurs rangées de frettes, qui peuvent s'arrêter au delà des tourillons pour les petits canons, ou se prolonger jusqu'à la bouche. Ce manchon, qui vient étreindre le tube et lui servir de butée, reporte une partie de la pression qui s'exerce sur la culasse jusqu'à la frette-tourillon au moyen d'un épaulement prenant appui sur cette dernière.

Le manchon est posé à chaud, avec serrage longitudinal et transversal ; il remplit, par suite, dans le sens longitudinal, un rôle analogue à celui que joue transversalement le frettage. La solidarité entre le tube et la frette-tourillon est complète.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cette disposition permet d'obtenir des canons qui résistent également au déculassement et à l'éclatement, avec des tubes relativement minces et d'une épaisseur assez uniforme. Ce dernier point est d'une importance très grande. Il permet de faire subir aux matières premières toutes les manipulations nécessaires.

Il convient de remarquer que le manchon qui embrasse l'arrière du tube résiste, par suite de la disposition avec agrafe, de la même façon que le tube, aux efforts transversaux dans l'âme et aux efforts longitudinaux qui s'exercent sur l'écrou de culasse.

Le mode de construction, dans lequel on se borne à recouvrir le tube au moyen de frettes, ne suffit pas.

Le système qui consiste à loger dans le manchon la vis de culasse ou le coin, ne donne pas non plus les garanties suffisantes au point de vue de la répartition des efforts et de la facilité des opérations métallurgiques, par suite du manque de régularité des pièces.

Nous nous bornons pour le moment à indiquer le mode de construction de ce canon; nous l'étudierons plus tard en détail et nous indiquerons son mode de fermeture de culasse et son affût.

§ 111. **Comparaison de la fonte et de l'acier.** — Ce sont seulement des motifs d'économie qui ont fait conserver trop longtemps en France l'usage de la fonte pour l'artillerie perforante.

Actuellement les canons de fonte frettés et tubés sont réservés pour le service des côtes; les canons en acier frettés, pour le service du bord.

Dans les gros calibres, les pressions admises sont : 2.400^{kg} par centimètre carré, pour les canons en fonte frettés et tubés ; 2.800 à 2.900^{kg}, pour les canons en acier modèles 1875 ou 1881. Tels sont les chiffres indiqués par l'expérience comme ne devant pas être dépassés.

Ainsi, pour les pièces en acier, les pressions adoptées sont seulement supérieures de 400 à 500^{kg} à celles qu'on admet pour la fonte. On constate pour les gros calibres une augmentation de 20 à 25^{m} dans les vitesses, lorsque l'on accroît la charge, de manière à faire passer la pression de 2.400 à 2.800^{kg}. Cette aug-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mentation de vitesse correspond à 2^{cm} environ dans l'épaisseur des plaques traversées. L'avantage obtenu paraît faible, si l'on songe que les canons en acier coûtent cinq à six fois plus cher que ceux de fonte.

Au point de vue de l'usure des canons de petit calibre, on a fait une expérience directe en 1879. Un canon de 10^{cm} en fonte fretté et tubé, identique au modèle 1875, a parfaitement résisté. Mais au bout de 350 coups, le diamètre de l'âme était tellement agrandi que quelques projectiles ne pouvaient plus prendre le mouvement de rotation. Or, dans les mêmes conditions de chargement, le canon réglementaire supporte 2.000 coups.

Pour les bouches à feu de gros calibre, la possibilité de tirer beaucoup de coups est moins importante. Mais, dans ce cas, l'acier offre sur la fonte un avantage énorme, c'est une grande sécurité contre les éclatements, quand il se produit des pressions anormales. Tandis qu'un canon en fonte fretté et tubé commence à se déformer et éclate à peu près sous les mêmes pressions, qui s'élèvent environ à 3.000^{kg}, le canon en acier subit les premières déformations seulement vers 3.500^{kg}; mais il n'éclate qu'à des pressions bien plus considérables, atteignant environ 5.000 à 6.000^{kg}.

Une pression anormale accidentelle, supérieure de quelques centaines de kilogrammes à celles qui sont admises, mettra hors de service le canon de fonte, tandis qu'elle ne produira dans le canon d'acier qu'une déformation insignifiante, si elle ne se renouvelle pas plusieurs fois. Or, avec les gros calibres, les pressions anormales sont fréquentes ; c'est la conséquence de l'emploi des poudres à gros grains, qui, pendant la déflagration, peuvent se briser et devenir vives en se transformant en petits grains. De plus, dans la période actuelle de tâtonnements, les conditions de conservation des poudres à bord ne sont pas suffisamment assurées. Les canons en acier seuls donnent la sécurité désirable.

DIFFÉRENTS MODÈLES D'ARTILLERIE EN SERVICE

§ 112. — Les bouches à feu dans la Marine sont classées en types bien caractérisés, désignés sous le nom de modèles, et qu'on distingue par le millésime de leur adoption. La Pl. I, fig. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, nous montre quelques types.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 113. **Artillerie M^le 1870.** — Canons de 14, 19, 24, 27, 32^cm, n^os 1 et 2. Corps en fonte, tube et frettes en acier. Tube court vissé par l'Æ.

Le tube est en deux morceaux pour le 32^cm (tube et virole); il y a deux rangs de frettes, excepté pour le 14^cm, qui n'en a qu'un rang.

§ 114. **Artillerie M^le 1870 M.** — Mêmes canons que dans le modèle précédent; seulement on a agrandi les chambres, pour avoir une augmentation de vitesse par une plus forte charge de poudre et par l'emploi d'une poudre plus lente.

On a modifié ainsi toute l'artillerie 1870.

Les pièces de 16^cm du modèle 1870 étaient en usage au moment où cette modification a été adoptée; et elle a été appliquée également à ces pièces, ce qui constitue le canon de 16^cm M^le 1870 M.

§ 115. **Artillerie M^le 1875.** — Dans ce modèle, le corps en fonte est remplacé par un corps en acier.

Les canons de 10^cm de ce modèle et les quatre canons de 27^cm, n° 2, qui seuls ont été construits et qui se trouvent à bord du *Redoutable*, sont à tube court vissé par l'Æ; les 27^cm, n° 1, et les 34^cm sont à tube long introduit par l'AV. L'écrou de culasse et le fossé sont dans le corps du canon; le tube étant susceptible de glisser, on y a remédié par une virole vissée du côté de l'Æ.

§ 116. **Artillerie M^le 1875 M.** — Canons de 10 et de 27^cm, avec chambre agrandie, comme dans l'artillerie M^le 1870 M.

§ 117. **Artillerie M^le 1870-1879.** — Avec les poudres lentes, il faut, comme nous l'avons déjà vu, que l'âme soit plus longue; c'est pour ce motif qu'on a été conduit à établir l'artillerie M^le 1870-1879, formée de pièces M^le 1870M allongées.

Il n'existe que deux canons de ce type; ce sont deux pièces de 32^cm, longues de 25 calibres, qui font partie de la défense de Toulon.

§ 118. **Artillerie M^le 1875-1879.** — L'artillerie M^le 1875-1879 est construite aussi d'après ce principe, qui a été appliqué aux pièces de 37^cm (27cal.).

Dans le tubage des pièces de gros calibre du M^le 1875, on avait reconnu un glissement du tube long introduit par l'AV, et l'on a essayé de l'introduire par l'Æ, en le vissant comme le tube court;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mais des difficultés matérielles d'exécution ont empêché de continuer ; et l'on est revenu à introduire par l'AV le tube ayant la longueur du canon. L'écrou de culasse est pratiqué dans ce tube.

On fut obligé de modifier d'après le même ordre d'idées cinq canons de 34cm et huit canons de 42cm en acier, qui étaient alors en construction. Pour pouvoir introduire ainsi par l'AV ces immenses tubes, qui étaient munis de leurs viroles, c'est-à-dire très épais à l'AR, on fut amené à leur donner une forme extérieure à peu près cylindrique. Le tube fut alors fretté sur une partie de sa longueur. Ces pièces ont trois rangs de frettes extérieures.

Citons trois canons de 37cm en acier de Saint-Chamond et trois du Creusot, du poids de 72 tonneaux, devant lancer un projectile de 535kg à la vitesse initiale de 600m.

Sur les huit canons précités de 42cm en acier à trois rangs de frettes, deux ont 21 calibres, les six autres 22 calibres. Les canons de 22 calibres doivent procurer une vitesse initiale de 530m ; ils pèsent 75tx, lancent des obus en fonte ordinaire de 650kg contenant une charge intérieure de 36kg, et des obus en acier coulé de 780kg contenant une charge de 11kg.

§ 119. **Artillerie Mle 1881.** — Ce système est caractérisé par la suppression du tube, dont la mise en place était une opération délicate pour les gros calibres. Le corps est en acier trempé.

Le canon de 65mm n'est pas fretté ; du moins il ne possède que la frette-tourillon. Les canons de 90mm, ceux de 10cm, de 14cm et de 16cm léger ont un seul rang de frettes. Le 16cm lourd, le 24cm, le 27cm, le 34cm long et court, ont deux rangs de frettes. A mesure qu'on s'élève dans l'échelle du calibre, l'épaisseur du frettage relativement à l'épaisseur du canon augmente.

On a cherché à ne pas employer l'acier sous des épaisseurs plus grandes que dans le modèle 1875. Cependant, pour les gros calibres, l'épaisseur du métal est sensiblement plus forte que dans le modèle 1875. Le grand danger, dans l'emploi des gros blocs d'acier, est l'incertitude que l'on a relativement aux défauts qui peuvent se trouver dans l'intérieur. Les progrès accomplis dans la fabrication de l'acier font espérer que les corps de canons auront l'élasticité suffisante pour que les couches voisines de l'âme prennent un état de compression convenable, sous le serrage énergique exercé par des frettes d'épaisseur jusqu'ici inusitée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On a rattaché au M^le 1881 quatre canons de 34^cm et de 21 calibres, fabriqués à Sheffield par M. Firth. Ils ont le corps en deux parties; le tube central, qui règne d'un bout à l'autre, est renforcé par un tube plus court, dit corps de canon, auquel font suite deux frettes. Cette artillerie comporte le 34^cm long, de 28,5 calibres, et le 34^cm court, de 21 calibres.

On semble maintenant vouloir s'en tenir au canon de 34^cm comme calibre maximum. C'est une pièce du poids de 53 tonnes, devant donner au projectile de 420^kg une vitesse initiale de 600^m; ce projectile devra traverser à bout portant une plaque de fer forgé de 74^cm d'épaisseur reposant sur un matelas en bois de 80^cm.

§ 120. **Canon de 42^cm M^le 1875.** — La Pl. I (fig. 8, 9, 10) nous donne les différentes dimensions du canon de 42^cm, en acier, M^le 1875. Il est à remarquer que les canons du *Terrible* n'ont que 18 calibres de longueur, tandis que ceux de l'*Indomptable* en ont 22. C'est qu'ils ont été coupés par suite d'avaries survenues dans un tir d'essai à Ruel.

Tels sont tous les systèmes d'artillerie usités dans la flotte; cependant nous devons mentionner encore les modèles appartenant à la Marine et qui servent à la défense des côtes.

§ 121. **Artillerie M^le 1870-1881.** — Nous trouvons l'artillerie 1870-1881 composée de canons de 27^cm et de 32^cm.

Le millésime 1870 indique que ces pièces sont en fonte, frettées (à deux rangs de frettes), avec tube court en deux morceaux (tube et virole) vissé par l'Æ; mais, par le tracé intérieur, la dimension de la chambre, le nombre des rayures et le tracé de la vis culasse, ces pièces appartiennent au modèle 1881. Elles ont une longueur d'âme de 25 calibres.

§ 122. **Artillerie M^le 1864 T 1870.** — Dans l'artillerie M^le 1864 T 1870, nous voyons les pièces de gros calibre 19, 24, 27^cm du M^le 1864, qu'on utilise pour la défense des côtes en les tubant. On chauffe la pièce et on la défrette; puis on la tube en introduisant le tube par l'Æ; et l'on frette de nouveau. Le tube est maintenu au moyen de goujons.

Pour la défense des côtes, on a créé aussi des mortiers de 30^cm et de 24^cm, à rayures multiples, se chargeant par la bouche.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour obtenir un bon forcement, on fait usage d'un projectile avec ceinture à expansion dont nous parlerons plus tard.

§ 123. **Prix de revient des pièces**. — Pour terminer cette étude comparative des bouches à feu, nous indiquerons les prix de revient des pièces en service.

M. le capitaine d'artillerie de marine Didelot a fait un travail à ce sujet, et il a établi les tableaux ci-après.

On ne peut comparer avec exactitude les prix de revient que pour le 27cm, qui a été exécuté dans tous les systèmes successifs. Le premier tableau résume les résultats fournis par les documents des fonderies.

DÉSIGNATION des MODÈLES SUCCESSIFS	POIDS, fermeture comprise	PRIX de revient	PRIX au kilogramme
	kilogr.	francs	francs
27cm, Mle 1864-66.	20.500	17.100	0,8341
Id. 1870.	23.220	29.700	1,278
Id. 1870-71.	25.459	34.000	1,335
Id. 1875 (n° 1).	28.300	107.700	3,8056
Id. 1881.	28.650	80.000	2,7923

Ces chiffres permettent d'évaluer les prix de revient des autres calibres de tous les modèles, en multipliant le poids total de la pièce par le prix au kilogramme particulier à chaque système. On obtient ainsi le tableau suivant :

CALIBRES	MODÈLES				
	1864-66	1870	1870-81	1875 (acier)	1881 (acier)
	francs	francs	francs	francs	francs
14cm	1.584	3.437	»	»	9.067
16	4.170	6.471	»	»	Lourd. . . . . 14.111 Léger. 11.118
19	6.672	10.172	»	»	»
24	12.094	20.013	»	»	30.136
27	17.100	29.700	34.000	(N° 1) 107.700	80 000
32	»	49.822	57.551	»	»
34	»	61.855 (pour expérience)	»	tubé et fretté 187.606	En deux blocs. . . . 134 200 En un bloc { 21 calibres, 133.325 28,5 id. 147.010

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

FABRICATION DES CANONS.

Nous allons indiquer à grands traits les principaux modes de construction des canons actuellement en usage dans la Marine, sans entrer dans le détail de ces opérations, qui relèvent du domaine de la métallurgie.

§ 124. **Canons en fonte.** — La fonte à canons est de la fonte *au bois* de première fusion ; on y ajoute toujours une certaine quantité de fonte de deuxième fusion (masselottes, restes de coulées, etc.), ce qui permet de réaliser une économie. Le mélange est proportionné d'une manière empirique ; et la fusion s'opère dans des fours à reverbère. Le moulage se fait avec un noyau dans l'axe de la pièce, pour supprimer le forage et augmenter la dureté du métal près des parois de l'âme. On coule le canon, la culasse en haut. La fonte liquide, amenée dans le bas par un siphon, remonte en tournoyant autour du noyau. Ce procédé est dit *à la remonte*.

Le système *à la descente* provoquerait des soufflures à la partie supérieure.

Ensuite on met le canon sur le tour, pour lui donner ses dimensions extérieures ; et l'on procède à l'alésage, qui a pour but de creuser dans l'intérieur de la pièce une surface cylindrique se rapprochant du calibre final ; puis on tourne exactement les portées. On creuse et on alèse le logement du tube ; on fait de même pour le logement de la virole, qu'il faut tarauder plus tard. On procède ensuite au tubage.

§ 125. **Tubage des canons de fonte.** — Le canon étant préparé comme nous venons de le voir, est placé verticalement, la culasse en haut ; et on le chauffe également sur toute la longueur du logement dans un four annulaire disposé comme l'indique la Pl. II, fig. 1 (*). La partie AA est remplie de coke ; et,

(*) La figure 1 représente à la fois le four de chauffage et l'appareil de tubage ; mais les deux opérations se font successivement ; et, quand le tubage commence, le four a été enlevé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quand le combustible est bien enflammé, on capèle le four autour du canon. On suit la dilatation au moyen de broches ; et lorsqu'on la juge suffisante, on enlève rapidement le four.

C'est alors que commence le tubage. Le tube tenu par un mandrin en fonte, comme l'indique la figure, est amené au-dessus du canon ; puis au moyen des leviers *ii*, les ouvriers lui impriment un mouvement rapide de rotation, jusqu'à ce qu'ils soient arrêtés par un choc indiquant que le tube est à la fin de sa course.

§ 126. **Tube en deux parties.** — Quand le tube est composé de deux parties, tube et virole, par exemple dans le 27^{cm} et le 32^{cm} M^{le} 1870-1881, l'assemblage du tube et de la virole se fait d'abord comme nous venons de le décrire ; puis la pièce ainsi formée est mise en place comme si elle était d'un seul morceau.

§ 127. **Canons en acier.** — *Corps*, *tubes*. Examinons maintenant les différentes opérations pratiquées pour la fabrication des corps et tubes des canons en acier.

L'acier est coulé dans des lingotières en fonte ayant la forme de tronc de pyramide, pour faciliter le démoulage.

Des masselottes sont ménagées en haut et en bas de la pièce, parce que dans ces régions le métal est moins homogène, et la partie supérieure contient des soufflures. La masselotte sert, en outre, à ralentir le refroidissement du lingot.

La partie inférieure sert pour la culasse, la partie supérieure pour la volée.

L'opération suivante est le forgeage. Après réchauffement, on place le lingot sous un fort marteau-pilon. Il est nécessaire de donner plusieurs chaudes. Par exemple pour le canon de 34^{cm}, il faut au moins 10 à 12 chaudes. Le bloc prismatique acquiert ainsi la forme extérieure qu'il doit avoir.

La pièce est ensuite recuite au four ; on l'amène lentement au rouge cerise clair, et on la laisse refroidir peu à peu ; puis on procède à un tournage ou plutôt à un dégrossissage. Il est important de faire cette opération avant la trempe, parce que celle-ci se fait surtout sentir sur les couches extérieures. Il y a donc intérêt à se rapprocher autant que possible des dimensions définitives ; mais il faut ménager un excès d'épaisseur pour faire disparaître ensuite les défauts produits par la trempe, et pour corriger la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

courbure que prend presque toujours la pièce quand on la chauffe avant la trempe.

On passe alors au forage. On le pratique au forêt russe, qui enlève un anneau métallique, en laissant au milieu une tige cylindrique.

On donne un second recuit, et l'on trempe la pièce à l'huile. Le canon est chauffé verticalement dans un four très haut ; puis on le plonge tout entier dans une fosse contenant une grande quantité d'huile. Il y a deux opérations pour la trempe. Dans la première, le canon est porté au rouge cerise clair (environ 1000°) ; dans la deuxième, au rouge sombre (600°). Le canon sortant du four est brusquement plongé dans l'huile, et on l'y laisse jusqu'à complet refroidissement.

§ 128. **Essais**. — On découpe, avant et après la trempe, à travers les excédents de métal, des rondelles perpendiculaires à l'axe, et dans lesquelles on prend des barreaux qu'on soumet à différentes épreuves de traction, de choc, de ployage et d'élasticité.

Les essais au choc se font sur des barreaux à section carrée. Le barreau reposant horizontalement sur deux couteaux, on laisse tomber en son milieu un lourd mouton d'une hauteur déterminée, et l'on mesure la flèche après chaque coup.

Pour l'épreuve de ployage, la lame, de section rectangulaire, est saisie dans un étau et soumise au choc d'un mouton. Le cahier des charges fixe dans tous les cas le minimum de coups avant la rupture, ainsi que le maximum de l'angle de ployage après que la rupture s'est produite.

Les conditions imposées par la marine française pour les trois espèces d'acier entrant dans la composition d'un canon sont les suivantes :

	TUBES	FRETTES	CULASSE
Limite d'élasticité minimum, kilogrammes par millimètre carré. . .	30 — 32	32	30 — 32
Résistance à la rupture minimum, kilogrammes par millimètre carré.	56 — 62	62	minim. 56 — 60 maxim 75
Allongement après rupture.	12 p. 100, 14 p. 100	12 p. 100, 14 p. 100	14 p. 100

Au choc, les barreaux de 30^{mm} sur 30 et de 20^{mm} sur 20 doivent résister à l'épreuve ci-après :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	TUBES ET FRETTES		CULASSE	
	30 millim	20 millim.	30 millim.	20 millim.
Poids du mouton	18kg	18kg	18kg	18kg
Hauteur de chute.	2m,75	1m,10	2m,75	1m,10
Distance entre couteaux	0m,16	0m,12	0m,16	0m,12
La rupture ne doit pas se produire avant un nombre de coups =	15	20	15	20

§ 129. **Essais à la poudre.** — Les tubes et les corps de canons subissent, avant de recevoir le frettage, une épreuve à la poudre.

La charge est réglée de manière que la pression soit un peu inférieure à la résistance correspondant à la limite élastique du métal. Comme l'indique la figure 25, on place un sachet de poudre entre deux boulets ; chacun de ceux-ci porte deux ceintures en cuivre tournées de façon à laisser très peu de jeu. L'un d'eux est muni d'un canal pour le passage d'un cordon d'inflammation. En général on tire trois coups : l'un à l'avant, l'autre à l'arrière et le troisième au milieu. Signalons en passant que cette épreuve à la poudre tend à être supprimée ; elle coûte fort cher et n'a pas grande raison d'être.

§ 130. **Frettes.** — Les frettes sont, d'après leurs dimensions, usinées comme les bandages de roues pour les chemins de fer ; on se sert du laminoir circulaire, ou bien on travaille ces pièces par martelage sur mandrin. Le laminage donne aux frettes un *sens*, et permet d'obtenir les propriétés spéciales que donne l'écrouissage. Les frettes-tourillons sont forgées avec un soin particulier. Les frettes sont, comme les tubes, soumises à une trempe à l'huile avec recuit.

On les soumet aux épreuves de torsion, de choc et de ployage, que nous avons indiquées plus haut ; et l'essai à la poudre est remplacé par l'épreuve au mandrin, que toutes les frettes doivent subir. C'est un tronc de cône qu'on enfonce d'un seul coup dans la pièce à essayer. Les frettes sont amenées avant cette épreuve à des dimensions aussi voisines que possible du finissage. Le mandrin produit une distension de 2mm,5 par mètre. Après l'opération, les frettes ne doivent pas conserver une dilatation permanente supérieure à 1mm par mètre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les pièces de culasse, vis-culasses, rondelles mobiles, manivelles, plaques à oreille, volets, boutons de console, supports de planchette, se font en acier fondu, martelé, recuit après le forgeage, trempé à l'huile et recuit après la trempe. Pour les tiges de rondelles, goujons et loquets, on fait exclusivement usage d'acier de cémentation fondu au creuset.

§ 131. **Tubage des canons en acier.** — Cette opération est analogue à celle que nous avons décrite pour les canons de fonte. Mais le tubage se faisant par l'avant, la pièce est placée verticalement la culasse en bas.

Le corps du canon est chauffé environ jusqu'à 400°, température qu'on ne dépasse pas, pour ne pas s'exposer à produire une altération du métal. Le four en briques ne donnant pas une température assez régulière, on le remplace par un chauffage à l'air chaud dans l'intérieur du canon, et à l'extérieur on emploie un mélange de gaz chauds. Si la chauffe n'était pas régulière sur toute la longueur, l'arcure se produirait infailliblement.

Le tube suspendu à la Cardan est descendu rapidement. Quand il est à bloc, on refroidit le tout à l'eau avec un arrosoir circulaire, en commençant par l'épaulement Æ. Il faut veiller à ce que le refroidissement soit progressif de l'Æ à l'Æ ; et, dans ce but, maintenir chaude la volée pendant que la culasse se refroidit. La volée moins épaisse ayant une tendance à se refroidir plus vite, il en résulterait un défaut d'équilibre dans la résistance de la pièce.

Le serrage diamétral pour le tube, les frettes et en général pour toutes les parties en acier coulé et trempé s'emboîtant les unes dans les autres, est de $1^{mm},7$ par mètre. La dilatation par mètre est de 3^{mm} à la température de 400°.

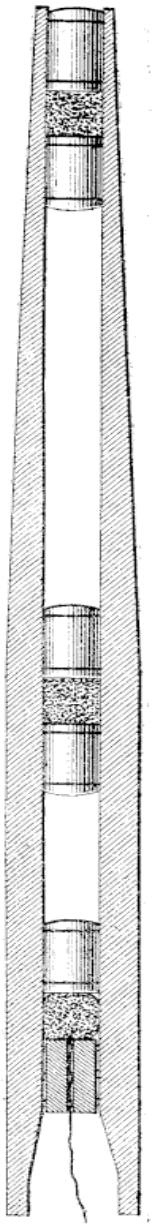


Fig. 25.

§ 132. **Tubage des corps de canons en deux blocs.** — Quand les corps de canons sont en deux blocs, le tubage se

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fait d'une manière différente. Autrefois on agrafait d'abord les deux blocs et on les tubait ensemble, comme s'il se fût agi d'un canon en une seule pièce. Mais on s'exposait à un désagrafage, à cause de la dilatation inégale des blocs. L'instruction du 7 février 1886 a réglementé la manière d'opérer.

On commence par tuber le bloc AR comme pour un canon ordinaire ; puis on met en place le bloc de volée chauffé à 400°, en le capelant sur le tube et l'agrafant sur la partie AV du bloc AR. L'agrafage M est de 1^{mm}. On ne peut pas obtenir le contact complet de toutes les parties ; il faut surtout avoir le contact des surfaces parallèles à l'axe et des parties de l'agrafe. Le joint des deux blocs après refroidissement offre l'aspect de la figure 26.

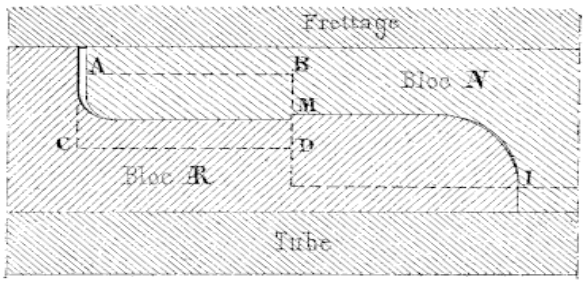


Fig. 26.

CD — AB = $1^{mm},6$; l'arrondi AV, MI, présente un jeu de $0^{mm},8$. La petite solution de continuité existant entre les surfaces des deux blocs est recouverte par une des frettes.

§ 133. **Frettage.** — Quand le tubage du canon est terminé, on procède au frettage. Les frettes sont chauffées d'une manière uniforme, afin de produire une dilatation permettant de les introduire sur le canon.

A Ruel on place le canon horizontalement ; les frettes sont amenées successivement ; la première s'appuie sur un ressaut de la pièce et forme calage ; chacune des suivantes est poussée contre la précédente au moyen d'un collier sur lequel on exerce une tension avec des chaînes. Puis avec un arrosoir on refroidit la frette, et l'on procède au matage des joints.

§ 134. **Rayage.** — La dernière opération est le rayage. Dans le système généralement employé pour cet usage, le canon est solidement saisi et centré ; et au moyen d'une vis sans fin on peut le faire tourner sur son axe, quand, une rayure étant finie, on veut pratiquer la suivante.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La machine à rayer la plus employée est celle de M. Krentzberger (fig. 27-28). Une vis V, placée parallèlement à l'axe du

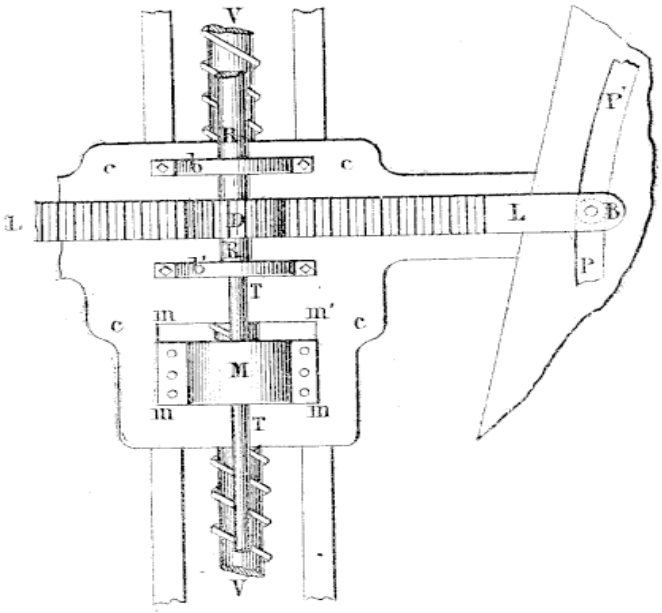


Fig. 27.

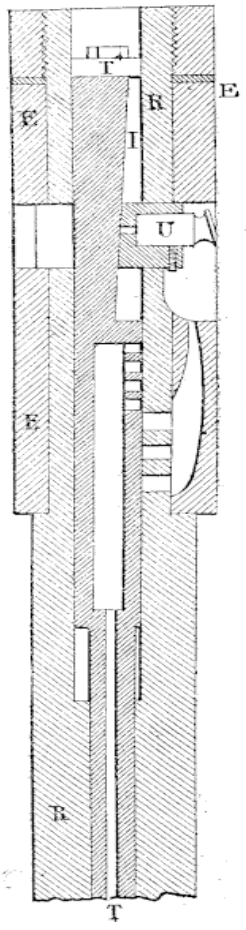


Fig. 28. — Barre de rayage à grande échelle.

canon, entraîne un chariot c, qui remorque la barre de rayage R; celle-ci est terminée par une tête E, portant le couteau à rayer U. Si cette barre ne tournait pas, elle tracerait une rayure rectiligne. Pour qu'elle tourne suivant une direction bien déterminée, elle porte un pignon D engrenant avec une crémaillère LL, qui coulisse perpendiculairement au mouvement de translation dans deux glissières fixées au chariot. Quand celui-ci se déplace, le bouton B de la crémaillère glisse dans une cursière parabolique fixe PP′, et force la barre de rayage à prendre un mouvement hélicoïdal parabolique. Les pièces b,b' sont des paliers de butée réunissant le chariot à la barre de rayage.

Il faut que le couteau ne fasse saillie que quand il a à travailler. Dans ce but, la barre de rayage est creuse et contient une tige T terminée par un plan incliné I. La tige T peut se déplacer dans la barre, et, suivant qu'elle marche dans un sens ou dans l'autre, le plan incliné permet à l'outil de rentrer en dedans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ou de sortir. On peut régler la saillie à volonté. Par ailleurs, la dite tige T est creuse, afin qu'on puisse amener constamment sur l'outil de l'huile et de l'eau savonneuse.

§ 135. **Des rayures.** — Les rayures sont destinées à imprimer au projectile le mouvement de rotation nécessaire pour assurer la justesse du tir, comme nous l'avons vu § 14.

Il existe deux systèmes : 1° rayure hélicoïdale; 2° rayure parabolique.

§ 136. **Rayure hélicoïdale.** — Dans ce système, l'angle fait par la rayure avec la génératrice de l'âme est constant.

Il offre un avantage au point de vue du centrage : le mouvement de rotation s'établit mieux dans l'âme. Mais le grand inconvénient est que les rayures sont trop inclinées au moment du départ du projectile; et il en résulte une grande fatigue des cloisons. En outre les rayures ne sont pas assez inclinées à la bouche. L'angle final est au plus de 4°; et il est reconnu que, pour assurer au projectile une bonne stabilité d'axe, il faut une inclinaison finale de 7°.

§ 137. **Rayure parabolique.** — Dans ce système, la rayure développée représente un arc de parabole tangent à la génératrice à la partie Æ, et faisant avec elle un angle qui va nécessairement en s'ouvrant de plus en plus.

Ce tracé est justifié par l'emploi des poudres lentes. En effet la ceinture se trouve ainsi découpée graduellement, le projectile prend son mouvement d'une façon progressive; et il arrive à la bouche avec la vitesse nécessaire.

Dans le principe, les rayures avaient une certaine inclinaison initiale sur la génératrice ; on la supprima à cause de l'emploi des poudres progressives. Une petite inclinaison initiale ne présente pas de grands inconvénients ; et, si la pièce n'est pas très longue, c'est autant de gagné pour l'inclinaison finale. Dans les canons de la marine M^le^ 1870, la parabole est tangente par son sommet à la génératrice de l'âme, et ce sommet se trouve souvent en Æ de l'origine des rayures. Si la pièce est assez longue, on arrive à l'inclinaison finale de 7° avant d'avoir atteint la bouche. Alors on a songé à sauvegarder la vitesse initiale, sans outrepasser une bonne rotation finale suffisante pour assurer la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

précision du tir, en terminant les rayures progressives par une partie hélicoïdale. La Guerre a adopté ce système.

Dans la marine, pour l'artillerie M^le^ 1881, qui a de grandes longueurs d'âme, on a préféré employer une rayure qui est d'abord rectiligne suivant la génératrice, puis qui devient parabolique jusqu'à la bouche.

§ 138. **Rayures cunéiformes.** — Pour compenser l'usure produite sur le manchon du projectile pendant son parcours dans l'âme, et pour assurer le forcement, on a imaginé (artillerie allemande de Krupp) de donner aux rayures une largeur et une profondeur qui vont en diminuant de la culasse à la bouche. Ces rayures sont appelées *cunéiformes*.

Les canons anglais *Whitworth* lancent leurs projectiles sous une inclinaison finale de 9 et même 12°. Aussi, malgré leur longueur, ces projectiles ont une grande stabilité d'axe et beaucoup de justesse dans le tir oblique. La pièce, il est vrai, supporte un effort considérable; mais sa solidité n'est pas compromise pas plus que celle du projectile, en raison de la grandeur des surfaces directrices du projectile et de la bouche à feu.

§ 139. **Nombre des rayures.** — L'effort exercé par le projectile sur le canon doit être réparti sur le plus grand nombre possible de points. Il y a donc avantage à multiplier les rayures, tout en diminuant leur profondeur juqu'à la limite qui assure la rotation du projectile, et en conservant aux cloisons une largeur suffisante pour résister à l'effort d'arrachement que le projectile produit sur elles.

Les premiers canons rayés eurent d'abord *deux* rayures profondes (M^le^ 1855); *trois* (M^les^ 58-60); *cinq* pour les calibres supérieurs au 16^cm^ dans les modèles 64-66. Les modifications apportées au montage des projectiles et l'adoption du tubage amenèrent une augmentation considérable du nombre des rayures. Dans les premiers tracés du modèle 70, on s'était arrêté à 10^mm^ pour la largeur des cloisons, et à un nombre de rayures *égal* ou *supérieur d'une unité au nombre de centimètres du calibre*, suivant que le calibre était pair ou impair. A la suite de nouvelles expériences (1875), le nombre des rayures fut porté à *une fois et demie le nombre de centimètres du calibre*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Enfin, depuis le 2 janvier 1878, la largeur des cloisons a été, pour les canons de tout calibre construits postérieurement à cette date, réduite uniformément à 4^{mm} et le nombre des rayures à *deux fois le nombre de centimètres du calibre.*

§ 140. **Rayures des mortiers.** — Les mortiers rayés de 30^{cm}, qui se chargent par la bouche, ont leurs projectiles munis d'une ceinture en cuivre expansive. Ces pièces présentent des rayures paraboliques ; mais comme elles ont peu de longueur, pour obtenir une inclinaison finale de 7°, on a dû porter à 4° l'angle initial. Le mouvement rapide de rotation étant imprimé dès le début, les ceintures sont plus hautes et par suite plus résistantes que dans les autres projectiles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3E PIE. — CHAPITRE II

MODES DE CHARGEMENT DES CANONS

FERMETURE DE CULASSE

§ 141. **Classification.** — Le chargement d'une bouche à feu peut s'opérer de deux manières : par la bouche ou par la culasse. Nous ne parlerons pas du premier système qui est abandonné aujourd'hui. Le second a prévalu définitivement depuis 1858, dans la marine française. Ses principaux avantages sont : de soustraire au feu de l'ennemi les chargeurs de la pièce ; de faciliter dans une large mesure l'introduction de la charge et le forcement du projectile ; de rendre impossible l'introduction de deux projectiles, comme dans l'accident du « Thunderer », où une double charge avait été mise par inadvertance dans un canon de 38t se chargeant par la bouche. Pour les petits calibres, ce système simplifie considérablement la manœuvre, en permettant de réunir, dans une même enveloppe métallique, projectile, charge et amorce.

Dans l'artillerie nouvelle à grande puissance, avec les modifications apportées dans l'emploi de la poudre, avec l'adoption de chambres spacieuses présentant un diamètre supérieur à celui de l'âme, ce mode de chargement est seul possible.

Le mécanisme comprend :

1° La *fermeture* proprement dite ; 2° l'*obturation*, c'est-à-dire la disposition destinée à empêcher toute issue des gaz.

Quelle que soit leur variété, les divers systèmes de fermeture de culasse se rangent dans les deux classes suivantes :

1° Fermeture dans le sens longitudinal (vis-culasse) ;

2° Fermeture dans le sens transversal (coin cylindro-prismatique).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 142. **Fermeture par vis-culasse** (Pl. II, fig. 2, 3, 4). — Ce genre de fermeture est le seul adopté en France. Il est fort ingénieux et nous a été emprunté par plusieurs marines étrangères. Depuis l'origine, il a subi de très heureux perfectionnements, mais qui n'ont été en réalité que des modifications de détail; le système, dans ses grandes lignes, n'a pas varié.

Le canon est foré de part en part. Un logement, d'un diamètre supérieur à celui de l'âme, est ménagé à l'arrière et sert d'écrou. La culasse est une vis en acier, dont les filets sont enlevés sur trois sections de 60°. Il en est de même pour l'écrou dans les trois secteurs correspondants. Il résulte de là qu'on peut retirer la vis-culasse ou la pousser, en faisant correspondre ses filets avec les secteurs évidés de l'écrou.

La vis-culasse étant dans son logement, il suffit de lui imprimer, à l'aide d'une manivelle, un 1/6 de tour à droite pour engager ses filets dans ceux de l'écrou.

Les filets de la vis ont en section la forme d'un triangle rectangle, aux sommets abattus. Ce profil a été adopté après de longues études, comme conciliant le mieux la facilité de manœuvre avec la solidité des filets.

A l'extrémité-avant de la vis-culasse est assujettie une pièce cylindrique en acier, dite *rondelle*, qui sert d'appui à l'*obturateur*, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une couronne encastrée dans la face-avant de la rondelle.

§ 143. **Obturateur.** — C'est un anneau à fond plat, muni d'une couronne tronconique, qui s'appuie par son bord aminci sur les parois du logement qui lui est destiné.

Le bord aminci de la couronne, taillé en biseau, se raccorde avec le fond plat par une partie arrondie, ou *gouttière*. Le rayon de cet arrondi influe sur le degré d'élasticité de l'obturateur, et a été déterminé par l'expérience.

Sous l'action des gaz, les rebords de l'obturateur s'épanouissent; et, venant se mouler sur les parois du logement, ils ferment toute issue à l'arrière.

L'obturateur est en acier ou en cuivre, mobile ou fixe dans son logement, suivant les modèles. Nous examinerons plus loin les diverses dispositions successivement adoptées.

§ 144. **Obturation automatique par expansion.** —

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les pièces de petit calibre, comme les canons Reffye (artillerie de terre), l'obturation est obtenue simplement par la dilatation de l'enveloppe métallique de la gargousse, au moment de l'explosion.

§ 145. **Console.** — Pour supporter la vis-culasse dans les mouvements d'ouverture et de fermeture, on fait usage de la *console*. Elle est employée pour tous les calibres à partir de 14^{cm}. C'est une pièce en bronze, formant le prolongement du logement de la vis-culasse. Ses bords, relevés de chaque côté, s'engagent, au moment où l'on retire la vis-culasse, dans deux rainures pratiquées à droite et à gauche du secteur fileté qui occupe la partie inférieure de la vis.

Un dispositif de loquets fixe sur la console la vis-culasse quand celle-ci est complètement retirée en arrière et, ne la rend libre de pénétrer dans son logement que lorsqu'elle est bien présentée ; de telle sorte que la rondelle ne risque pas de heurter les bords de la vis et de les dégrader.

§ 146. **Système à cadran.** — La vis-culasse étant amenée sur la console, pour démasquer l'ouverture de la culasse, on a imaginé divers procédés.

Le premier employé (58-60) a été le *système à cadran*. Le *cadran* était une pièce en bronze fixée par de fortes vis à la tranche postérieure de la bouche à feu, et portant une coulisse dans laquelle on faisait mouvoir la console. Une clavette-arrêtoir limitait le mouvement sur la droite.

Ce système, qui exigeait un effort musculaire assez grand, même dans le canon de 16^{cm} (M^{le} 58-60), fut abandonné pour les pièces de l'artillerie M^{le} 64-66 ; et l'on mit alors en comparaison deux autres systèmes : l'un dit *à coulisse*, et l'autre *à charnière*.

§ 147. **Système à coulisse.** — La console était disposée de manière à embrasser une glissière horizontale fixée à la tranche de culasse. L'ouverture de l'âme était démasquée par un mouvement de glissement vers la droite. La rondelle et l'obturateur (qui était alors mobile) se trouvaient ainsi à l'abri de toute dégradation par suite de fausses manœuvres ; mais la visite et le nettoyage de ces pièces importantes présentaient une grande difficulté.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 148. **Système à charnière.** — On adopta définitivement le *système à charnière*, qui est maintenant en usage. Voici en quoi il consiste :

La console porte à droite une charnière (Pl. II, fig. 2), qui sert à la fixer à la tranche de culasse, et permet, par un mouvement de rotation, de démasquer l'ouverture de la pièce. Elle est arrêtée à son poste de fermeture par un loquet à ressort.

Dans les gros calibres (32, 34^{cm}), dont les vis-culasses sont très lourdes (700, 900^{kg}), tout en conservant le *système à charnière*, on a eu recours pour la manœuvre aux organes mécaniques suivants :

1° Vis sans fin, pour pousser la console contre la tranche de culasse ou la rabattre sur le côté droit de la pièce;

2° Système à engrenage, pour enfoncer la vis-culasse dans son logement ou l'en retirer;

3° Système à engrenage et crémaillère, pour ouvrir et fermer la culasse.

Enfin, dans les puissantes bouches à feu (37^{cm}), les mouvements d'ouverture et de fermeture de la culasse sont obtenus au moyen d'une chaine sans fin manœuvrée par un palan hydraulique. La console n'est plus reliée à la culasse même du canon, mais à la plate-forme de la tourelle ; et la pièce vient se fixer à la console pour le chargement.

§ 149. **Taquet d'arrêt.** — Par l'effet des secousses qui se produisent au moment du tir, il arrivait souvent, surtout avec les petits calibres, que la console se décrochait et pouvait déterminer la chute de la vis-culasse, quand un canonnier inattentif venait à la tirer brusquement en arrière.

Pour obvier à cet inconvénient, on a fixé à la partie droite inférieure de la tranche-arrière de la vis-culasse un doigt, dit *taquet d'arrêt de console*, qui vient s'engager dans une rainure pratiquée dans la console, quand la manivelle est rabattue sur la droite.

§ 150. **Volet.** — Dans l'artillerie de terre, on emploie le système de Bange (Pl. II, fig. 3), qui présente les particularités suivantes :

Le *volet* est un anneau en acier, dans le vide duquel se meut la vis-culasse. Il se loge dans le corps de la bouche à feu. Quand la culasse est fermée, sa tranche-arrière coïncide avec la tranche de culasse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le volet est muni de deux oreilles percées d'un trou, pour le passage du boulon de charnière, qui le relie au canon, en pénétrant dans des logements disposés en conséquence.

Le jeu du volet est identique à celui de la console. Le mouvement de fermeture de la culasse fixe le volet au canon et rend la vis libre de glisser dans le volet. Le mouvement d'ouverture fixe la vis au volet et laisse à celui-ci la liberté de tourner autour de la charnière.

Avec le volet on n'a pas à craindre la chute de la vis-culasse dont nous venons de parler.

§ 151. **Obturateur de Bange.** — Dans le système de Bange, la disposition de l'obturateur est également modifiée. Il est plastique; il se compose (Pl. II, fig. 4) d'une galette en amiante imbibée de suif (0,65 d'amiante et 0,35 de suif), percée d'un trou pour le passage de la tige mobile. La matière plastique est entourée intérieurement et extérieurement d'un cylindre en toile cousue. Cette enveloppe est protégée sur les deux faces de l'obturateur par deux coupelles en étain qui contribuent à maintenir la matière plastique.

Trois bagues fendues, en laiton, garnissent les angles et empêchent l'étain de pénétrer dans les joints. Quand on ouvre la culasse, le mouvement du levier-poignée ,qu'on rabat et qui appuie par sa came sur le volet, décolle l'obturateur qui vient en même temps que la culasse. Ce dispositif a le grand avantage de ne pas exiger les lavages qu'il est absolument indispensable de faire après chaque coup dans le système d'obturation décrit précédemment, où sans cette précaution des crasses pourraient s'interposer entre l'obturateur et la couronne, et donner lieu à des fuites de gaz qui produiraient des affouillements dans le métal.

§ 152. **Fermeture à coin cylindro-prismatique, système Krupp. Artillerie allemande.** — Ce système de fermeture (Pl. II, fig. 5) est constitué par un coin-cylindro-prismatique, susceptible de se mouvoir horizontalement dans une mortaise de même forme ménagée dans une partie renforcée de la culasse. On introduit la charge par l'arrière, à travers un canal qui forme prolongement à l'âme, et au moyen d'un tube de chargement que l'on place à la main dans le vide formé par le retrait

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de l'appareil de fermeture. Pour les canons de petit calibre, ce tube est supprimé; l'extrémité du coin est percée d'un trou cylindrique, nommé *fausse âme*, qui joue le même rôle.

Afin d'assurer la fermeture, la partie cylindrique du coin est un peu conique; quand on le met en place, on produit ainsi un serrage plus complet. L'obturation se fait par un anneau en cuivre ou en acier, logé dans une fraisure de l'âme, et contre lequel appuie la face antérieure du coin. Le serrage de ce dernier est opéré par une vis, dont trois filets s'engagent dans une moitié d'écrou pratiquée sur la face-arrière de la mortaise. Le décollement pour l'ouverture s'obtient dès qu'on dévire la vis. Dans cette opération, les filets de la vis, dont les deux derniers sont rasés jusqu'au noyau, se dégagent de la mortaise, et l'on peut continuer le mouvement en tirant à soi tout le système. La vis est manœuvrée par une manivelle; et la course du coin est limitée par une vis-arrêtoir verticale, dont la queue coulisse dans une rainure pratiquée à la partie supérieure du coin. Celui-ci porte une lumière centrale et reçoit une étoupille à percussion. La mise en feu est produite par un percuteur à broche actionné au moyen d'une détente analogue à celle d'un fusil.

APPAREILS DE SÛRETÉ.

La fermeture des canons par la culasse comporte divers appareils de sûreté. Ils ont deux buts à atteindre :

1° Empêcher la culasse de s'ouvrir au départ du coup;

2° S'opposer à ce que le chef de pièce fasse feu si la culasse n'est pas complètement fermée.

§ 153. — **1° Linguet.** — Cet appareil est placé dans un évidement de la tranche de culasse, un peu au-dessus de la position de la manivelle correspondant à la fermeture. Il est fixé par une vis, qui lui sert d'axe de rotation, et porte un ressort en saillie permettant à la manivelle de soulever le linguet quand elle tourne de gauche à droite, et l'arrêtant dans le mouvement contraire.

§ 154. **2° Verrou.** — Le verrou a un triple but : en maintenant l'étoupille, il empêche les gaz de s'échapper par la lumière.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans le cas de rupture de l'étoupille, il arrête les gaz qui pourraient venir à la figure du chef de pièce. Enfin il s'oppose à la mise en feu, si la culasse n'est pas complètement fermée.

Le verrou est en acier ; il est disposé pour masquer et démasquer le trou de lumière. En cas de rupture d'une étoupille, il porte un large recouvrement et un évidement longitudinal, qui se termine par un trou pratiqué dans le bec du verrou. Comme ce trou est dirigé vers le haut au moment du tir, les gaz sont chassés dans la même direction.

Pour les pièces de gros calibres, on place à la partie inférieure un contre-verrou muni d'un canal sinueux, afin de briser les gaz et de les projeter sur l'affût.

Le verrou (Pl. III, fig. 1) est guidé dans son mouvement par une rainure pratiquée dans la tranche de culasse. Cette rainure est circulaire et concentrique avec la vis-culasse ; elle est prolongée à la partie supérieure par un évidement rectangulaire dirigé suivant un rayon.

Lorsque la culasse est complètement fermée, le bec du verrou se trouvant dans la partie évidée, on peut le relever à la main d'une quantité suffisante pour démasquer le canal de lumière et amorcer. Quand on le laisse retomber, le bec du verrou vient s'appuyer sur la face inférieure de l'évidement. Le percuteur est alors dans l'axe de la lumière et peut recevoir le choc du marteau.

Dès qu'on fait tourner la vis-culasse vers la gauche, le bec du verrou, en remontant le long du plan incliné, qui raccorde l'évidement à la rainure elle-même, entraine le verrou. Le percuteur n'est plus dans l'axe de la lumière et la mise de feu est impossible.

§ 155. **Verrou à traction indirecte et à loquet de sûreté** (Pl. III, fig. 2, 3, 4). — Dans ce système, le marteau fait corps avec le verrou lui-même, et il est actionné par un ressort. Si durant un combat, la chape portant le marteau vient à se briser, il suffit de changer le verrou, ce qui se fait sans difficulté en dévissant la vis arrêtoir.

Le verrou porte deux chapes servant à maintenir l'axe du marteau. La chape de droite a une entaille, où vient se loger un talon du marteau destiné à assurer la position de ce dernier au moment de sa chute. La chape de gauche est creusée, pour recevoir la gâchette et la détente que nous décrirons plus loin. Une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

porte à charnière permet de fixer ces deux pièces après leur introduction dans la chape. Entre les deux chapes passe une goupille destinée à limiter la course du marteau.

Le *marteau* (fig. 3) est en acier. Il est muni, à l'arrière de son axe de rotation, d'une petite molette, sur laquelle presse un ressort qui provoque sa chute. Un évidement rectangulaire pratiqué en dessous sert à donner passage au loquet de sûreté. Sur la joue gauche est un logement destiné à la gâchette, et dont l'utilité sera expliquée dans la suite.

La *détente* (fig. 4) est une pièce en acier pouvant se mouvoir autour d'un axe perpendiculaire au plan du verrou. Deux oreilles la maintiennent sur cet axe; elle est percée d'un trou, pour crocher le cordon, *tire-feu*, et se trouve munie d'une queue, pour actionner le loquet de sûreté; à la partie inférieure et à l'avant elle porte un appendice, qui est au niveau du côté de la rainure quand la détente est au repos.

Sur le même axe s'engage la *gâchette*. Cette pièce a une queue qui est actionnée par la détente. La partie qui se loge sous le marteau est un peu inclinée, pour faciliter le dégagement. Une entaille pratiquée sur sa face extérieure sert à recevoir l'extrémité d'un ressort, qui est fixé à la chape et pousse la gâchette vers l'intérieur.

Quand on arme le marteau, il presse par sa molette sur son ressort, qui agit pour le faire retomber; mais la gâchette se présentant d'elle-même à son poste empêche la chute, car elle est poussée aussi par un ressort, qui tend toujours à la placer sous le marteau quand celui-ci est soulevé. Si maintenant on agit sur le cordon tire-feu, la détente pressant la queue de la gâchette, la partie engagée sous le marteau vient à l'extérieur, et le marteau tombe. Dans cette position, la gâchette presserait constamment sur son ressort, qui serait toujours tendu et finirait par se fatiguer. C'est pour cela qu'on a ménagé dans le marteau un logement pour la gâchette. De cette façon, le ressort est au repos quand le marteau est abattu. L'évidement se continue jusqu'à la partie inférieure du marteau par un plan incliné. Si donc on soulève ce dernier, la gâchette repoussée peu à peu presse son ressort; et, quand elle a dépassé le bord inférieur du marteau, elle se précipite immédiatement en dessous.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 156. **Loquet de sûreté.** — Avec le système de verrou que nous venons de décrire, il est arrivé quelquefois que le marteau étant soulevé a échappé de la main du chargeur, avant que la gâchette ait pu fonctionner, et a fait partir l'étoupille. Le loquet de sûreté a pour but d'empêcher cet accident. Il ne permet pas au téton du marteau de toucher le percuteur sans que la détente ait été mise en mouvement par le cordon tire-feu.

Le loquet (fig. 4, 5), formé d'une tige d'acier rectangulaire, traverse les deux chapes, et s'engage sous le marteau perpendiculairement à son plan. Un mouvement de va-et-vient lui est communiqué par la queue S de la détente, à laquelle il se trouve capelé par sa douille. Le loquet présente soit une partie saillante U, soit un évidement sous le marteau; ce qui permet à ce dernier de frapper le percuteur ou l'empêche d'y toucher.

Si l'on agit sur le cordon, le levier marche de gauche à droite, et la partie saillante du loquet s'avance à droite. Le marteau tombe de toute sa hauteur, et le téton frappe le percuteur. Si l'on soulève le marteau à la main, la détente n'ayant pas bougé, et le loquet non plus, le marteau peut tomber sans danger; car il rencontre la partie saillante.

Au moment où le coup part, la gâchette sort de dessous le marteau; et, quand celui-ci tombe, elle entre dans l'évidement creusé sur sa joue gauche. Dans ce mouvement, sa queue se rapproche de la détente, qui est pressée et entraine le loquet. Ce dernier se trouve donc encore en bonne position pour empêcher le percuteur d'être frappé. Quand on arme le marteau, la gâchette est repoussée et sa queue s'éloigne de la détente; mais lorsque la gâchette rentre sous le marteau, sa queue se rapproche de nouveau de la détente, et tout est prêt pour le tir.

Les deux conditions suivantes sont donc remplies : 1° aussitôt que le coup est parti, le loquet revient à sa première position de sûreté; 2° quand on arme le marteau, rien ne bouge, si ce n'est la gâchette.

FERMETURE POUR CANONS DE CÔTE ET DE BORD SYSTÈME CANET, MODÈLE 1883

§ 157. **Dispositions générales.** — Dans le système Canet (Pl. III, fig. 6), la fermeture de culasse est disposée de façon

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à permettre d'employer l'obturateur plastique, en même temps que l'étoupille obturatrice à percussion, qui convient seule aux bouches à feu de bord.

La vis de culasse présente les dispositions générales adoptées par la marine française et que nous avons examinées plus haut.

Suivant l'axe se trouve la tige fixe de l'obturateur formée de deux parties OO′ vissées ensemble, vissées elles-mêmes dans le corps de la vis-culasse C, et maintenues en place par un fort goujon G.

Cette tige est percée d'un trou, qui porte à l'une de ses extrémités le grain de lumière en cuivre rouge et, à l'autre, le logement de l'étoupille. Sur la face postérieure de la vis-culasse se trouve la glissière M, dans laquelle coulisse le verrou de mise de feu.

La vis-culasse est portée, lorsqu'elle est hors du canon, par une console du type de la marine; elle se manœuvre au moyen d'un levier-poignée L, portant une came A, qui, au moment où l'on fait le rabattement, s'engage dans une échancrure de la culasse et s'oppose au dévirage.

Quand la vis est dégagée de l'écrou, la came vient prendre appui sur la tranche de culasse et décolle l'obturateur.

§ 158. **Obturation.** — L'obturation s'obtient au moyen d'une galette *g* plastique montée sur la tige fixe. Cette galette est enfermée entre deux coupelles; celle d'avant est en cuivre, celle d'arrière en étain. Ces coupelles sont renforcées à leurs angles par des bagues fendues en laiton.

L'anneau obturateur reçoit la pression des gaz par l'intermédiaire d'une tête mobile T, en acier dur, montée sur la tige fixe. Cette tige porte à son extrémité un bourrelet de forme spéciale servant de butée à la tête mobile.

§ 159. **Verrou.** — Le mécanisme de mise de feu consiste en un verrou V, qui glisse dans une coulisse à l'arrière de la vis de culasse. Il porte à l'une de ses extrémités le percuteur avec son ressort et le marteau *m*; à l'autre bout se trouve une queue *q*, qui s'engage dans une rainure circulaire *i* fixée sur le corps du canon.

Le chien porte à l'arrière un galet, qui comprime un ressort en spirale pendant que l'on arme.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La détente, actionnée par un ressort, s'engage dans un évidement ménagé à cet effet sur l'embase du chien, et l'empêche de retomber jusqu'à ce que l'on agisse sur le cordon de tire-feu.

On ne peut faire feu avant la fermeture complète de la culasse; car la queue du verrou reste engagée dans la rainure circulaire, jusqu'à ce que la sixième partie du tour soit accomplie. A cet instant seulement, un dégagement permet d'écarter le verrou pour placer l'étoupille, et d'amener le percuteur dans la position voulue pour faire feu.

De plus, la détente ne peut lâcher le chien que lorsque le verrou est absolument en place. A ce moment une saillie que porte la détente se trouve en face d'un évidement correspondant ménagé dans la glissière.

Enfin si, à l'instant où l'on arme, le chien s'échappait des mains du pointeur, il ne pourrait faire partir l'étoupille; car un petit levier, que porte la gâchette, vient se placer en biais au-dessous d'une saillie correspondante du chien et empêcher celui-ci de retomber sur le percuteur. Le levier ne s'efface que si l'on agit sur le cordon tire-feu.

DE LA MISE DE FEU

§ 160. **Canal de lumière.** — Le *canal de lumière* est le conduit par lequel on communique le feu à la charge de poudre. Sa position et sa direction ne sont pas sans influence sur la combustion.

Dans l'ancienne artillerie lisse et avec les premiers canons rayés, la lumière était percée dans le renfort de la bouche à feu; et l'expérience avait déterminé le point où elle devait aboutir dans la charge pour que l'action de la poudre fût le mieux utilisée; c'était à peu près aux 2/5 de la longueur de la gargousse à partir du culot.

La lumière avait une inclinaison sur l'axe, qui variait de 10° à 30° suivant les pièces.

Cet angle, qui avait été conservé sur les premiers canons frettés, pour ne pas affaiblir le frettage, augmentait les chances de dégradation de l'orifice inférieur. On y renonça dans l'artillerie M^le 64; le canal de lumière reçut alors une direction verticale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La lumière continuant à être percée dans les renforts, l'augmentation des calibres eut comme conséquence de rendre de plus en plus difficile l'introduction du dégorgeoir dans le canal de lumière.

On essaya, aux canons de 24^{cm}, de l'incliner vers la droite dans un plan perpendiculaire à l'axe. Il résulta des essais exécutés que les grains de poudre et les éclats d'étoupilles, projetés à leur sortie suivant une gerbe divergente, atteignaient les servants ; et l'on constata que l'inclinaison sur la droite ne devait pas dépasser 6° pour que cet inconvénient fût évité.

Or le canon de 24^{cm}, sur lequel avait été fait cet essai infructueux, était déjà dépassé; il fallut absolument se préoccuper des moyens de mettre le feu par l'arrière, et d'obtenir l'obturation du côté de la lumière. Ce problème a été résolu d'une façon très satisfaisante, comme nous le verrons plus loin.

§ 161. **Grains de lumière.** — Pendant longtemps on n'avait fait aucune tentative pour s'opposer aux violentes projections de gaz chassés, lors de la combustion, par le canal de lumière. Afin de diminuer leur action destructive, on avait seulement recouvert les parois du canal de *grains de lumière*, tubes en métal peu fusibles.

Dans l'artillerie 64-66, le grain en cuivre rouge est cylindrique ; sa partie supérieure filetée se visse dans le frettage, et l'extrémité inférieure, évasée après la mise en place du grain, occupe un emplacement tronconique qui lui est ménagé dans l'âme à son débouché.

Dans les pièces se chargeant par la culasse, M^{les} 70 et 75, la mise de feu par l'arrière a exigé un dispositif spécial. La rondelle et sa tige sont percées, suivant leur axe, d'un trou composé de trois parties cylindriques présentant des diamètres différents, qui constituent le canal de lumière. La partie cylindrique avant reçoit un *grain de lumière en cuivre*, et dans la partie arrière est vissé un *grain de lumière en acier*.

§ 162. **Grain de lumière dans les canons de 100 tonnes italiens.** — Le grain est dans ce cas une tige en acier à section hexagonale, que l'on peut facilement retirer et remplacer au besoin. Ce mode d'inflammation de la charge a pour effet de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mettre le feu au centre de la gargousse, qui a $1^{m},32$ de longueur. Le résultat est obtenu à l'aide d'un cône creux en bois mince (fig. 29) qui s'adapte dans la gargousse par l'arrière. Sa grande base s'appuie contre un anneau en cuivre logé à la partie postérieure de la gargousse ; tandis que sa petite base, qui vient aboutir au centre, est percée de petits trous destinés à donner passage à la flamme de l'étoupille.

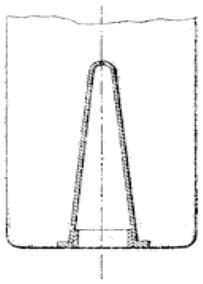


Fig. 29.

§ 163. **Artifices de mise de feu.** — Pour communiquer le feu à la charge d'un canon, on fait usage d'artifices appelés *étoupilles*.

L'étoupille contient essentiellement une petite charge de poudre et une matière fulminante, dont on détermine l'inflammation par la friction, la percussion ou l'électricité. Nous allons passer en revue ces trois systèmes.

§ 164. **Étoupilles à friction.** — Cet appareil, qui est en usage dans la marine depuis 1859, se compose d'un grand tube en plume rempli de poudre, d'un petit tube contenant une composition fulminante, et d'un *rugueux* en fil de cuivre, terminé extérieurement par une boucle qui sert à accrocher le *cordon tire-feu*.

Cette étoupille est employée pour les canons ayant la lumière dans le renfort.

§ 165. **Étoupilles à percussion.** — C'est vers 1829 qu'on fit usage pour la première fois, dans le département de la Marine, d'*étoupilles à percussion*.

Ces appareils comprenaient d'abord une capsule fulminante en cuivre rouge. L'inconvénient résultant de la projection des éclats de cuivre fit remplacer, en 1836, la capsule par une pastille fulminante adaptée sur la tête du tube en plume, contenant la charge d'amorce de l'étoupille.

La composition fulminante, en détonant, repoussait violemment le marteau et le détériorait vite ; elle augmentait aussi la dégradation de la lumière. Plus tard, cette étoupille fut abandonnée et remplacée par celle à friction dont nous avons parlé plus haut.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 166. **Étoupilles obturatrices à percussion centrale.** — Cet artifice comporte une douille de 8^{mm},9 en laiton, qui produit l'obturation en s'épanouissant, et dont la tête, lorsqu'on amorce, arrête l'étoupille en butant contre le canal de lumière. L'appareil est complété par une cheminée en laiton durci, vissée dans la douille et coiffée d'une capsule amorcée au fulminate de mercure; enfin, par une charge d'amorce en poudre de chasse. Une rondelle de papier verni à la gomme-laque empêche le contact immédiat de la cheminée et de la composition fulminante. Des rondelles de papier mince sont interposées entre la cheminée et la charge de poudre, qui est maintenue par un tampon en cire.

L'étoupille obturatrice à percussion centrale a sur les anciennes l'avantage de supprimer toute projection de gaz ou de débris d'étoupille. Elle évite la nécessité où l'on était de dégorger la lumière et de percer la gargousse à chaque coup; enfin elle donne moins de ratés. Le jet de flamme, lancé par la charge d'amorce, est assez puissant pour traverser la gargousse et mettre le feu à la charge.

Cette disposition est en usage pour tous les canons à lumière centrale.

§ 167. **Étoupilles électriques.** — Ce système est basé sur la propriété qu'a le courant électrique de porter à l'incandescence un conducteur métallique de grande résistance.

Pour les canons ayant leur lumière percée dans le renfort, les étoupilles sont formées par deux tubes en plume, de mêmes dimensions que ceux des étoupilles à friction en plume.

Le petit tube (Pl. IV, fig. 1) renferme l'*amorce électrique*. Il est fermé à un bout par un tampon en cire, et à l'autre extrémité par un bouchon en caoutchouc, que traversent les deux branches cordées d'un fil de cuivre isolé. Entre les deux extrémités sont fixés les bouts d'un fil de platine de 1/30 de millimètre, contenant 12 p. 100 d'iridium pour augmenter sa résistance, et présentant 10 spires de 0^{mm},8 de diamètre. Un mélange de fulminate de mercure et de sulfate d'antimoine, composition facilement inflammable, remplit, sous forme de pâte, avec de la poudre de guerre, le tube d'amorce, et constitue l'*allumeur*.

Le grand tube contient de la poudre à mousquet, séparée du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

petit tube par un tampon de $1^{mm},5$ de coton-poudre en floches ; il est fermé par un tampon en cire, et se trouve fixé sur une tête en bois, formée de deux parties embrassant les branches de l'amorce.

Le passage du courant amène le fil de platine à l'incandescence et produit l'inflammation.

§ 168. **Étoupille obturatrice électrique pour canons à lumière centrale.** — Cette étoupille (Pl. IV, fig. 2) est formée par une douille en laiton, présentant à l'extérieur les mêmes dimensions que l'étoupille obturatrice ordinaire, mais terminée par une queue cylindrique. Dans cette queue passe une tige également en laiton, isolée de la douille par du caoutchouc.

Le fil de platine communique par l'une de ses extrémités avec la douille et par l'autre bout avec la tige centrale. L'obturation du canal de lumière est produite par l'expansion des lèvres de la douille ; l'obturation autour de la tige centrale en laiton est due à l'expansion des rebords amincis d'un tampon que porte cette tige à la partie voisine du culot.

De même que pour les étoupilles obturatrices dont nous avons parlé (§ 166), le jet de flamme que lance l'étoupille dans le canal de lumière est suffisant, pour percer la gargousse et mettre le feu à la charge de la pièce.

MISE DE FEU ÉLECTRIQUE A BORD

§ 169. **Conditions à remplir.** — Le programme que l'on s'est proposé est le suivant :

Il faut que le commandant ait la possibilité de faire partir simultanément toutes les pièces, tout en laissant à chaque chef de pièce la faculté de mettre le feu isolément, s'il y a lieu. Il faut aussi qu'on puisse passer rapidement de l'une à l'autre de ces mises de feu. Enfin, il est nécessaire que la vérification de l'état des communications se fasse sans difficulté.

Voici quelles sont les dispositions adoptées :

Toutes les étoupilles sont placées en dérivation sur le circuit, pour qu'elles soient indépendantes l'une de l'autre. De cette façon, l'explosion prématurée ou la rupture de l'une d'elles n'empêche pas les autres de partir.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 170. **Pile d'inflammation.** — On fait usage de la pile Leclanché à aggloméré ; elle a 6 éléments, et n'offre aucune particularité remarquable. Nous parlerons de cette pile dans la partie consacrée à l'Électricité. Notons seulement qu'elle convient parfaitement pour l'usage en vue, où l'on a besoin, comme dans les sonneries et les productions de signaux, de courants de faible durée.

Cette pile a l'avantage de ne pas consommer en circuit ouvert et de reprendre par le repos sa force primitive. Elle exige peu de soins ; et les mêmes éléments peuvent être conservés pendant des mois entiers sans être rechargés.

§ 171. **Câbles, conducteurs.** — Les câbles qui établissent le circuit sont à 2 ou 3 conducteurs. Chaque conducteur est formé de 25 fils de cuivre de $0^{mm},5$ de diamètre, tordus en corde, entourés d'un filin goudronné et d'une toile caoutchoutée. Une tresse de coton goudronné réunit les conducteurs.

Ces câbles sont pourvus de *raccords* permettant de les réunir avec facilité, soit entre eux, soit avec la pile et les organes d'interruption et de mise de feu.

§ 172. **Câbles à deux ou trois conducteurs. Leurs raccords terminaux.** — Ces câbles se rendent de la pile aux tables de manipulation placées dans le poste du commandant.

Les *raccords* qui les terminent (Pl. IV, fig. 3) sont formés de deux pièces de bois demi-cylindriques, réunies par deux frettes en laiton, de façon à former une sorte de manchon où pénètre l'extrémité du câble.

Pour les raccords à triple conducteur, et les raccords de bifurcation, on emploie des dispositions analogues que l'inspection des figures 4, 5, 6 suffit à expliquer.

Dans le voisinage de la bouche à feu, on monte sur chaque câble un bout de câble souple à double conducteur, formé de 60 fils de cuivre de $0^{mm},2$ tordus en corde. Le raccord est composé de deux parties femelles saillantes, que l'on engage sur les bornes du verrou de mise de feu électrique. L'une des pièces porte un cliquet à ressort que l'on manœuvre avec le doigt (fig. 7).

§ 173. **Conjoncteurs de mise de feu.** — Le conjoncteur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

permet, par la seule pression d'un bouton à ressort, de fermer le circuit.

Il en existe deux espèces : le *conjoncteur fixe à coup de poing*, placé sur la table de manipulation du commandant, et le *conjoncteur portatif*, que le chef de pièce tient à la main.

Dans les deux modèles, un *verrou de sûreté*, en ivoire, poussé automatiquement entre les pièces métalliques destinées à établir le courant, prévient tout contact inopportun. Dans le conjoncteur fixe du dernier modèle adopté (Pl. IV, fig. 8), le verrou de sûreté est à rotation et, sous l'action d'un ressort, il vient s'engager de lui-même sous le *coup de poing* qui établit le contact électrique; il est d'ailleurs maintenu écarté, lorsqu'on l'arme avant la mise de feu, au moyen d'un crochet qui s'abaisse au moment du contact.

Le *conjoncteur portatif* (fig. 9), destiné à être tenu par le chef de pièce, est placé sur le conducteur dérivé. Il porte d'un côté un raccord mâle triple, qui s'adapte au câble conducteur, et, de l'autre côté, un raccord mâle double pour le câble souple de mise de feu.

Ce conjoncteur est muni de deux boutons de pression. L'un, en ivoire, est placé à la partie inférieure; en le pressant, on ferme le circuit de mise de feu par le commandant. Le second bouton, en ébène, est situé à la partie supérieure; en le pressant, on ferme le circuit de mise de feu par le chef de pièce. Ce dernier bouton est muni d'un verrou de sûreté poussé par un ressort; et on le commande par une petite plaque placée sur le côté de l'appareil. Avant d'abaisser le bouton, il faut armer le verrou de sûreté. Celui-ci vient de nouveau s'engager entre les contacts lorsque le bouton se relève.

§ 174. **Verrou de mise de feu électrique** (Pl. IV, fig. 10). — Ce verrou diffère de celui qu'on emploie pour la mise de feu ordinaire par une fente longitudinale, servant au passage de la queue de l'étoupille électrique. En outre, le percuteur est remplacé par des pièces isolées électriquement. L'une doit pincer la queue de l'étoupille; l'autre sert à établir le contact avec le culot.

Dans les verrous des calibres de 24^{cm} et au-dessus, cette dernière pièce forme une pince à mâchoires, entourant le tube qui garnit la base de la queue de l'étoupille. Cette pince est disposée de façon à s'ouvrir automatiquement pour le passage de la queue de l'étoupille, et à fermer ensuite la fente pour s'opposer à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

projection des débris d'étoupilles, en cas de mauvaise obturation.

Dans les petits calibres, où ce danger est moins à craindre, cette pince est remplacée par une simple lame de ressort faisant appui sur le culot.

Une pince en laiton, montée sur une plaque isolante en caoutchouc, vient saisir la queue de l'étoupille, lorsqu'on pousse le verrou en place ; cette pince communique avec la seconde borne qui fait saillie sur le verrou. Il suffit donc d'établir une communication électrique entre les deux bornes pour placer l'étoupille dans le circuit.

§ 175. **Tables de manipulation du commandant.** — Il existe deux tables de manipulation dans le poste de combat du commandant : l'une à bâbord, l'autre à tribord.

Chaque table (Pl. IV, fig. 11) comporte un raccord double pour se relier au câble venant de la pile, et un raccord triple pour la sortie du courant par le câble à triple conducteur.

Le courant de la pile arrive à un conjoncteur fixe avec verrou de sûreté, tel que nous l'avons décrit plus haut. A chaque extrémité de la course de la manette est disposée une enclume intercalée dans le circuit électrique. L'une marquée *Commandant*, sert pour la mise de feu simultanée ; l'autre, marquée *Chef de pièce*, est destinée à la mise de feu individuelle.

§ 176. **Sonnerie équilibrée.** — Lorsqu'on met en place les conducteurs, il convient de procéder successivement en partant de la pile, ce qui permet de vérifier de proche en proche si les communications sont bien établies.

On pourrait se servir du galvanomètre ; mais on emploie préférablement des *sonneries équilibrées*, disposées de manière à fonctionner dans toutes les positions.

§ 177. **Marche du courant à bord.** — Le circuit, venant de la pile, se bifurque dans le poste de combat du commandant, entre les deux tables de manipulation. Le courant passe par les conjoncteurs fixes, et arrive aux câbles à triple conducteur, qui constituent, comme nous l'avons dit, deux circuits indépendants.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'un des fils sert au passage du courant pour la mise de feu individuelle, l'autre pour la mise de feu simultanée ; et le fil central sert de retour commun aux deux courants.

Par le câble à triple conducteur, le courant descend dans le réduit de la batterie ; il court en abord de chaque côté, arrive aux raccords de dérivation établis près de la cheville ouvrière de chaque pièce, et vient au conjoncteur du chef de pièce. Il se rend enfin par le câble souple au verrou de mise de feu de l'étoupille.

§ 178. **Exécution du feu.** — *Feu par le commandant.* Le chef de pièce, tenant son conjoncteur, appuie sur la plaque d'ivoire qu'il serre avec les doigts contre la paume de la main, lorsque la pièce est prête à faire feu. Le contact de la mise de feu par le commandant est alors établi (*), et se trouve à la disposition de celui-ci par le conjoncteur fixe.

Le commandant amène la manette du conjoncteur fixe à l'extrémité de la course marquée *Commandant.* Il dégage, en le faisant tourner, le verrou de sûreté, qui reste armé par l'effet du ressort d'arrêt.

Pour déterminer le passage du courant et provoquer la mise de feu, il ne lui reste plus qu'à appuyer sur le coup de poing.

Feu par le chef de pièce. — Le commandant amène la manette de son conjoncteur à l'extrémité de la course marquée *Chef de pièce.* Celui-ci dégage le verrou de sûreté du conjoncteur qu'il tient à la main, en appuyant sur la petite plaque latérale.

Le chef de pièce n'a plus alors qu'à appuyer sur le bouton d'ébène pour compléter le circuit et mettre le feu à la pièce.

DIFFÉRENTS MODÈLES DE HAUSSES

§ 179. — Nous avons exposé aux § 32, 33, 34, 35, la théorie des appareils de pointage et nous avons montré sommairement la disposition des hausses, sans entrer dans le détail de

(*) Ce contact se rompant automatiquement, si le chef de pièce cessait de maintenir la main serrée, il ne pourrait se produire d'accident.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

construction de ces appareils. La Planche V contient différents modèles en usage dans la Marine. Il est inutile d'entrer dans la description de chacun de ces systèmes : l'inspection des figures suffit pour en démontrer le fonctionnement.

La hausse du commandant Pénaud n'est pas encore adoptée officiellement ; mais il y a lieu de croire que son usage ne tardera pas à devenir général.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3E P IE. — CHAPITRE III

PROJECTILES

GUIDAGE DES PROJECTILES

§ 180. **Conditions que doivent remplir les projectiles.** — Les considérations de balistique que nous avons exposées § 13, démontrent l'utilité qu'il y a d'allonger les projectiles, afin de diminuer la résistance de l'air. Des raisons analogues expliquent pourquoi l'on a été amené à les terminer en pointe. Tous les projectiles employés dans notre marine ont la forme cylindrique avec pointe ogivale ; et l'on a complètement renoncé aux boulets sphériques et aux projectiles cylindriques.

Pour assurer au projectile la stabilité de son axe, il est nécessaire, comme nous l'avons vu § 14, de lui imprimer un mouvement de rotation très rapide. Le but des rayures est de produire cette rotation qui augmente la justesse du tir.

Les projectiles actuels sont garnis de ceintures, que l'on oblige à s'imprimer dans les rayures de la pièce, de manière à ce qu'il n'existe pas de vide entre les deux parois en contact.

Pour qu'un projectile allongé frappe bien normalement, il faut que son axe tende à se confondre à chaque instant avec l'élément de la courbe décrite par son centre de gravité. La position de ce dernier a donc une grande importance. La partie cylindrique doit être assez longue pour que le centre de gravité se trouve dans cette portion. Il en résulte une limite à l'allongement de l'ogive aux dépens du cylindre.

Les projectiles à culot ogival présentent une supériorité pour la justesse du tir. Cette forme symétrique est spéciale à l'artillerie Whitworth. Mais dans la Marine française, on a conservé le culot plan, comme se prêtant mieux à la fabrication ainsi qu'à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'emmagasinage, et permettant au choc des gaz de se répartir plus uniformément contre le projectile au moment du départ.

Les dimensions adoptées sont les suivantes :

La longueur totale est de $2^{cal},3$ pour les boulets en fonte dure ; $2^{cal},4$ pour les obus de rupture ; $2^{cal},7$ pour les obus ordinaires (*). L'ogive est engendrée par un arc de cercle tangent à l'extrémité de la génératrice du cylindre. Son rayon est d'environ $1^{cal},6$; il est de 2^{cal} pour les obus ordinaires de 27, 24, 19 et 16^{cm}. Dans les projectiles de rupture, la hauteur de cette partie ogivale est à peu près égale à celle de la portion cylindrique. Dans les obus en fonte, c'est la partie cylindrique qui est la plus longue ($1^{cal},5$ environ), ce qui augmente le volume de la chambre.

Le poids est égal à trois fois celui du boulet rond que lancerait la pièce supposée à âme lisse. C'est environ 1/100 du poids de la pièce elle-même.

§ 181. **Montage des projectiles.** — Il existe plusieurs systèmes pour forcer les projectiles à épouser les rayures de la pièce :

1° *Tenons ou ailettes.* — Le projectile est muni de tenons en métal moins dur que celui du canon ; on les fait en zinc pour les canons en bronze, et en bronze pour les bouches à feu de fonte ou d'acier.

2° *Ceintures.* — Le projectile est muni de deux ceintures. La première, qui se trouve placée à l'avant, est en zinc, ou bien elle est venue de fonte avec le projectile. Elle présente un diamètre un peu plus faible que celui de l'âme, de cloison à cloison (les cloisons sont les parties saillantes qui séparent les rayures voisines). Cette ceinture sert à empêcher les battements du projectile.

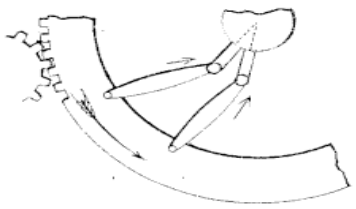


Fig. 30.

A l'arrière est placée une seconde ceinture forçante en cuivre rouge, d'un diamètre un peu supérieur à celui du fond des rayures, et destinée à être découpée par les cloisons.

La mise en place de cette ceinture se nomme *sertissage*. Cette opération se faisait primitivement à la main, en martelant une

(*) Ceci s'applique uniquement aux canons de 19, 24, 27, 32, 34 et 42^{cm}, c'est-à-dire aux pièces de gros calibre, M^le 70 et M^le 75, primitives ou modifiées.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

barrette en cuivre dans l'encastrement. Maintenant on se sert d'une machine spéciale. Elle se compose d'un volant horizontal (fig. 30) portant 8 matoirs disposés dans le sens des rayons, et actionnés par des bielles. Un pignon lui donne un mouvement de rotation alternatif.

Le projectile est placé au centre de l'appareil, et embrassé par les matoirs qui forcent la ceinture dans son logement. Une fois en place, elle est tournée suivant le profil extérieur qu'elle doit avoir.

Pour l'artillerie de terre, la ceinture, polygonale à l'intérieur, est introduite dans le moule du projectile, et se trouve emprisonnée dans la fonte.

§ 182. **Forme de la ceinture.** — On a reconnu, après de nombreuses expériences, qu'il fallait faire appliquer exactement la surface extérieure de la ceinture sur le tronc du cône de raccordement. De cette façon, une fois le projectile bien enfoncé à son poste, son axe coïncide avec celui de la pièce, et l'entrée de l'âme est hermétiquement fermée. C'est une condition importante; car si des fuites de gaz se produisaient entre l'âme et la ceinture, elles occasionneraient des érosions dans le canon. La ceinture pour obus de 16^{cm} M^{le} 1881, représentée figure 31, est composée d'une partie cylindrique précédée d'une portion tronconique.

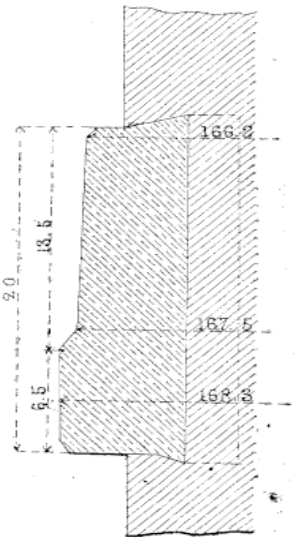


Fig. 31.

Le forcement adopté pour l'artillerie 1881 est de 1^{mm} à 1^{mm},5. On ne peut songer à aller plus loin sans compromettre l'existence des canons.

§ 183. **Position de la ceinture.** — La ceinture est placée à une distance du culot suffisante pour assurer un appui solide au projectile. La position la plus avantageuse a été déterminée par l'expérience ; pour les projectiles de la Marine, elle est à 38^{mm} du culot environ (*).

(*) D'après les dernières expériences de 1882, on peut, sans diminuer sensiblement la justesse et la portée, réduire cette distance à 0,2 de calibre pour les canons de 16^{cm},

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 184. **Ceinture à expansion.** — Pour les obus destinés aux mortiers de 24 et de 30^{cm}, se chargeant par la bouche, on a adopté une ceinture à expansion, qui est placée dans un encastrement tout près du culot. Sous l'effort du gaz elle s'épanouit et produit le forcement. Elle est formée d'une barrette circulaire. Une fois qu'elle est en place, on lui donne sa forme définitive en la tournant.

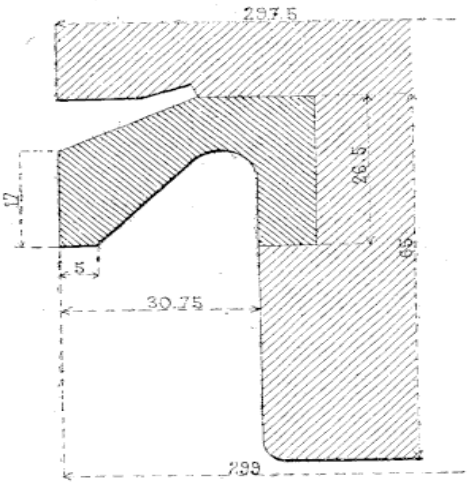


Fig. 32.

La fig. 32 représente une ceinture pour mortier de 30^{cm}.

§ 185. **Chemise en plomb ou en laiton (artillerie allemande).** — Le forcement par chemise en plomb ou en laiton donne un bon centrage ; l'enveloppe se moule assez bien dans les rayures, et procure au projectile une grande surface d'appui ; mais cette enveloppe se déforme facilement, elle se détache par le choc et augmente sans avantage le poids du projectile. Elle ne peut être employée que pour les petits calibres.

§ 186. **Gaz-check.** — Dans ce système, c'est la pression même des gaz qui est utilisée pour produire l'obturation.

Le *gaz-check*, adopté en Angleterre, est un anneau en cuivre étampé en forme d'assiette et maintenu contre le culot par un bouchon fileté en bronze. Le gaz-check porte un certain nombre de nervures à section cunéiforme, qui s'engagent dans des sillons correspondants pratiqués à la base du projectile. L'explosion de la poudre force l'anneau dans ces sillons, et fait pénétrer son rebord dans les rayures.

Pour les projectiles de leurs canons de 100 tonnes, les Italiens font aussi usage d'un gaz-check en cuivre, qui est simplement capelé sur une gorge à l'arrière du culot. On le met en place, au moment du tir, en présentant les deux dents dont il est muni

de 10^{cm}, et pour ceux de 65^{mm}, ce qui augmente considérablement la résistance de l'obus à l'écrasement, en rapprochant la ceinture de la partie pleine du culot.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans des encoches correspondantes de la gorge, et en lui imprimant un léger mouvement de rotation. Au départ du coup, le métal malléable du gaz-check s'incruste dans des cannelures pratiquées sur le pourtour du culot, avant que l'inertie du projectile soit vaincue. Ces deux parties deviennent ainsi solidaires, et le gaz-check entraîne le projectile dans le mouvement giratoire que lui donnent les rayures, pendant que ses bords amincis s'appliquent énergiquement contre les parois de l'âme.

CORPS DU PROJECTILE

§ 187. **Classification des projectiles.** — Les projectiles se classent en trois catégories :

1° Projectiles massifs ou *boulets*,
2° Projectiles creux explosibles ou *obus*,
3° Boîtes à mitraille.

Parmi les obus on distingue :

1° Les obus de rupture,
2° Les obus en fonte ordinaire,
3° Les obus à balles.

§ 188. **Boulets en fonte dure.** — La fonte dure servant à la fabrication des boulets provient de fontes ordinaires très pures, que l'on affine de manière à les rapprocher de l'acier pour qu'on puisse jusqu'à un certain point les tremper. Les boulets sont coulés, l'ogive en bas, dans une lingotière en fonte, qui est garnie intérieurement, à partir du bourrelet avant jusqu'au delà du culot, d'un enduit réfractaire, de sorte que l'ogive seule est coulée en coquille. Cette fabrication est concentrée à Terre-Noire et à Montluçon.

Le prix moyen des derniers marchés est de 0f,52 le kilogramme.

§ 189. **Obus de rupture.** — Les obus destinés à percer les murailles cuirassées sont dits *obus de rupture* (fig. 33); ils sont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en acier coulé sans soufflures de Terre-Noire. Le projectile est coulé plein, la tête en bas. Le moule se compose de 3 parties : une coquille métallique pour l'ogive, une autre coquille de même nature pour le corps de l'obus, et enfin un moule en sable pour la masselotte.

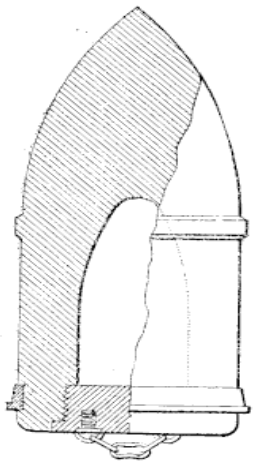


Fig. 33.

La chambre, dont le volume est très réduit, est creusée à l'outil, et la gorge de ceinture à la raboteuse. Une fois le projectile obtenu, on le trempe de manière à avoir dans l'ogive une dureté plus grande que dans le reste.

Le prix de revient est élevé ; il est de 2^{f},50 le kilogramme ; ce qui met à 1.050 francs l'obus de 34^{cm}, sans qu'il soit ni monté ni chargé.

M. Holtzer, à Unieux, donne à l'acier une grande dureté par l'addition du chrome ; mais ses procédés sont tenus secrets. Des projectiles de 34^{cm}, fabriqués de cette manière, ont percé des plaques de 40^{cm} ainsi qu'une muraille d'appui de 34^{cm}, et sont sortis entiers et sans fentes.

Des expériences ont été faites en Angleterre sur un obus français fabriqué à l'usine de Firminy. Ce projectile, du calibre de 30^{cm}, a été tiré avec un canon de 43 tonnes contre une cible de 45^{cm} en métal compound.

Cette cible, qui représentait en tout 15^{cm} d'acier appliqué sur 30^{cm} de fer, avec un double matelas en arrière formé par 25^{cm} de bois et 15^{cm} de fer, a été traversée de part en part sans que le projectile ait été brisé. L'obus n'était pas chargé, il n'a donc pas fait explosion et l'on a pu l'examiner après l'expérience. Il n'était presque pas endommagé. Sa pointe conique était restée aiguë ; on remarquait dans le métal trois fentes parfaitement rectilignes. L'analyse a dénoté dans cet acier la présence du chrome, auquel on attribue la résistance du métal.

S'il avait été lancé contre la muraille d'un cuirassé et qu'il eût été chargé, cet obus aurait éclaté à l'intérieur, après avoir traversé le blindage, et il aurait causé un véritable désastre.

Le gouvernement espagnol fabrique, dans les ateliers de la Trubia, des projectiles en fonte durcie, et des expériences intéressantes ont été faites à ce sujet à Carabauchel, près de Madrid, sur les projectiles destinés au canon de 24^{cm}.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La cible, placée à 225^{m} de la pièce, se composait de deux plaques en fer forgé de 11^{cm} d'épaisseur, 1^{m} de haut et 6^{m} de longueur horizontale. Ces plaques étaient séparées par un matelas intermédiaire formé de madriers de pin présentant 7^{cm} d'épaisseur. Derrière la seconde plaque se trouvait une double paroi de poutres en bois de tilleul garnie d'une solide armature en fer, le tout fortement relié et boulonné. Le système était maintenu vertical à l'avant et à l'arrière par des jambes de force et des piédroits, qui reposaient sur des dormants fixés par de forts piquets fichés dans le sol.

On détermina d'abord les charges qui devaient faire arriver les projectiles sur la cible avec les vitesses restantes qu'ils auraient eues à 225, 500, 1.000 et 2.000^{m}, si l'on avait tiré sur des cibles placées à ces distances avec la charge réglementaire ; les poids des charges ainsi déterminées étaient : 27^{kg} ; 26^{kg},300 ; 23^{kg},380 et 19^{kg},520. Les obus furent lestés de manière à avoir un poids de 144^{kg}.

Dans les trois premiers coups, tirés avec les charges correspondant à 1.000, 500, 225^{m}, le projectile traversa complètement la cible, et alla tomber à 400^{m} en arrière.

Le quatrième coup, tiré avec la charge correspondant à 1.000^{m}, atteignit le bord de la cible et la traversa, mais avec une forte déviation vers le haut ; il ne faut pas tenir compte de ce coup, auquel la cible n'a pas opposé sa résistance totale.

Dans le cinquième coup, tiré avec la charge correspondant à 1.000^{m}, on employa un projectile suédois de la fabrique d'Ankarsrum ; et le résultat fut le même que dans les trois premières expériences.

Le sixième projectile, tiré avec la charge correspondant à 1.000^{m}, demeura incrusté dans la cible, la tranche du culot au ras de la première plaque.

Enfin au septième coup, tiré avec un projectile suédois de Fingspong et avec la charge correspondant à 2.000^{m}, l'obus s'enfonça dans la cible, comme au sixième, mais en laissant découverts 4^{cm} de culot.

Des cinq projectiles qui traversèrent la cible, trois furent trouvés entiers, et deux fendus transversalement, mais sans aucune déformation de l'ogive.

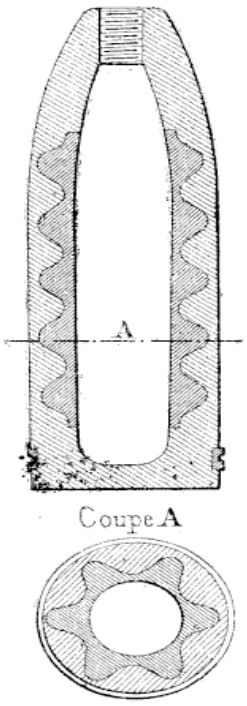
Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 190. **Obus de rupture en fonte dure pour mortiers de côte.** — Ces projectiles destinés à perforer les plaques de pont sont fabriqués à Terre-Noire et à Montluçon en fonte dure avec noyau. Pourtant, en 1881, l'usine de Montluçon les a coulés pleins, et la chambre était faite à l'outil. Dans les deux cas, le bouchon formant culot est en acier fondu doux; il est usiné au tour et vissé sur le projectile.

Le prix de revient est en moyenne de 0f,65 le kilogramme.

§ 191. **Obus ordinaires.** — Pour les obus ordinaires, on emploie la fonte de deuxième fusion au coke. On les coule dans des moules en sable avec noyaux; ils sont chargés de poudre ordinaire et munis d'un mécanisme percutant dont la tête forme la pointe de l'ogive.

Le vernissage intérieur de tous les obus chargés a été prescrit en 1882 pour prévenir les éclatements prématurés. Cet effet est dû au frottement produit sur les parois par des grains de poudre se précipitant vers le culot, où ils viennent s'enrocher.



Coupe A

Fig. 34.

Dans les obus de rupture, la charge est enveloppée d'un maillot de serge, pour retarder l'éclatement et empêcher qu'il ne se produise avant que le projectile ait pénétré la cuirasse.

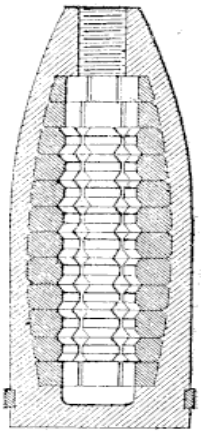
§ 192. **Obus à doubles parois.** — Dans ces projectiles, on a réservé à la fonte des lignes de rupture suivant des méridiens et suivant des parallèles, comme l'indique la figure 34; on multiplie ainsi les éclats.

Dans les obus Uchatius (Autriche et Italie), l'enveloppe interne est formée de bagues superposées.

§ 193. **Obus à balles.** — L'obus à balles (fig. 35) diffère peu de ce dernier modèle. L'enveloppe interne est formée de couronnes de balles superposées. C'est sur ce noyau comportant 12 couronnes, c'est-à-dire de 92 balles, qu'on coule l'enveloppe extérieure en fonte. Le vide intérieur reçoit la charge de poudre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 194. **Boîtes à mitraille.** — Les boîtes à mitraille (fig. 35) sont des enveloppes cylindriques en tôle contenant des balles en zinc disposées par couches.



Ces boîtes ont sensiblement le même poids que les obus en fonte ordinaire. Celles qui sont destinées aux bouches à feu rayées de la Guerre sont en zinc. Ces projectiles servent dans les tirs sur les hommes ou sur les embarcations à des distances inférieures à 400^{m}. Plus loin, le tir est sans efficacité, à cause de la trop grande dispersion des balles.

Les boîtes à mitraille sont à grosses ou à petites balles : ces dernières sont réservées au tir contre les embarcations en bois.

Fig. 35.

§ 195. **Rapport entre le poids du canon et celui du projectile de rupture.** — Les pièces de la Marine pèsent de 100 à 130 fois le poids de leur projectile de rupture ; le rapport est égal à :

110, pour les canons M^{le} 70 (19^{cm}, 24^{cm}, 27^{cm}, 32^{cm});
115, id. M^{le} 75 de 27^{cm} n° 2, et de 34^{cm};
128, id. 16^{cm} M^{le} 70; 27^{cm} M^{le} 75; 37^{cm};
100, id. 42^{cm} en acier M^{le} 75.

Au point de vue du recul, il importe que la pièce soit le plus lourd possible. Lorsque les bouches à feu sont destinées à des transports fréquents, on est obligé de leur donner un poids relativement beaucoup plus faible. Ainsi, le 90^{mm} (Marine) pèse 75 fois le poids de son obus, et le 65^{mm} pèse seulement 35 fois ce poids.

FUSÉES

§ 196. **Classification.** — Les fusées sont des artifices destinés à mettre le feu à la charge des obus. Elles sont de deux sortes : 1° *à percussion ;* 2° *à temps.*

Dans les fusées à percussion, l'inflammation est produite par le choc même de l'obstacle frappé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les fusées à temps sont enflammées au départ de l'obus par les gaz de la poudre ; mais elles brûlent lentement, de manière à ne communiquer le feu à la charge qu'au bout d'un temps déterminé.

§ 197. **Fusée percutante, modèle 1870, sensibilisée.** — La figure 36 représente la fusée percutante, modèle 1870, sensibilisée.

Le corps cylindrique en laiton est vissé dans l'œil du projectile ; il est surmonté d'un chapeau conique portant un rugueux en cuivre rouge. Le marteau en laiton contient à l'avant une amorce à friction recouverte de papier, et à l'intérieur une charge de poudre de chasse retenue par un tampon en bois ; le marteau est maintenu par deux freins en plomb, qui traversent le corps de la fusée et entrent en partie dans le marteau.

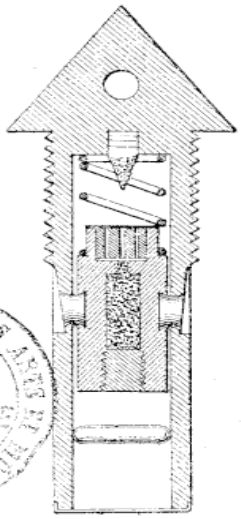


Fig. 36.

BIBLIOTHÈQUE DES ARTS ET MÉTIERS

Au départ du projectile, la fusée s'arme ; c'est-à-dire que le marteau, qui ne participe pas encore au mouvement de la fusée, est rejeté en arrière. Les freins se rompent, et le marteau vient porter sur une goupille d'arrêt. Le ressort à boudin placé à l'avant empêche le marteau de rebondir sur le rugueux, et prévient un éclatement prématuré. Lorsqu'un choc ralentit brusquement le projectile, le marteau, en vertu de sa vitesse acquise, est projeté sur le rugueux, qui enflamme l'amorce. Le feu se communique à la poudre du marteau, qui chasse le tampon en bois et allume la charge de l'obus.

En faisant varier la distance de l'amorce au rugueux, le poids du marteau ou le diamètre des freins, on peut accélérer ou retarder l'éclatement de l'obus.

Les mécanismes percutants sont classés en plusieurs numéros, dont les dimensions varient suivant la lumière des obus, et qui sont affectés aux différents calibres :

N° 2	pour obus de	34, 27^{cm} ;
4	id.	24, 19, 16, 14^{cm} ;
5	id.	10^{cm} ;
6	id.	65^{mm}.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les numéros 5 et 6 diffèrent des précédents surtout parce que la goupille d'arrêt est remplacée par un bouchon fileté en laiton.

§ 198. **Fusée Budin pour obus de 90mm.** — Le corps de la fusée (fig. 37), est en bronze ; il est fileté et présente une tête tronconique et un vide central cylindrique ; le fond est muni d'un évent. A la partie supérieure est vissé un bouchon, dont la base est entourée d'un ressort à boudin et porte un rugueux. Contre la base du bouchon s'appuie une masselotte percée d'un trou carré, qui renferme un porte-amorce appuyé sur une rondelle de carton. Un ressort à pinces, placé à cheval sur le porte-amorce, sert à arrêter la masselotte par les saillies que forment ses extrémités recourbées.

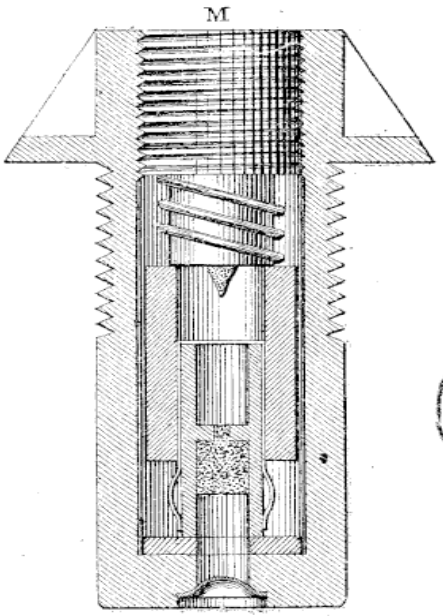


Fig. 37.

Au départ du coup, la masselotte aplatissant les saillies du ressort vient frapper la rondelle de carton, qui amortit le choc ; et elle reste appuyée de cette façon par la pression du ressort à boudin.

Au choc d'arrivée, le système de la masselotte et du porte-amorce, formant percuteur, se porte en avant, en comprimant le ressort de sûreté ; l'amorce rencontrant la pointe, détone et met le feu à la charge du porte-amorce.

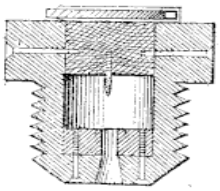


Fig. 38.

§ 199. **Fusée Desmarets pour obus de canon-revolver de 37mm.** — Cet appareil se compose (fig. 38) d'un corps fileté en laiton présentant une tête hexagonale et un vide intérieur légèrement tronconique. Ce vide, dont le fond porte une amorce, est fermé à la partie supérieure par un tampon en bois muni d'un rugueux. Quand, dans le tir, la pointe de l'obus rencontre un obstacle,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le tampon est refoulé, et le rugueux pénétrant dans l'amorce en détermine l'explosion.

§ 200. **Fusée à double effet.** — Les mécanismes percutants faisant éclater les projectiles à leur point de chute ont remplacé les fusées à temps employées autrefois. Cependant on a encore intérêt maintenant à faire éclater les obus à balles au-dessus et en avant du but. Dans cette intention a été imaginée la fusée à double effet, dont sont munis tous les projectiles des canons de campagne de la Guerre. Avec le forcement actuel, qui empêche les gaz d'entourer le projectile, le feu ne peut être communiqué directement à la composition fusante ; et l'on a utilisé le principe de l'inertie pour mettre en mouvement l'appareil concutant.

Grâce à la justesse que possèdent les canons d'aujourd'hui, on connaît exactement la durée des trajets ; et, par suite, quand on emploie les obus à balles devant éclater au-dessus et en avant du but, il faut que le feu soit mis à la composition fusante à un moment précis correspondant à une certaine longueur de matière à brûler. On a gradué la longueur du tube fusant en secondes et dixièmes de seconde ; avec la vitesse actuelle, 1/10 de seconde correspond environ à un parcours de 60 mètres.

La fusée est munie également d'un appareil percutant faisant éclater le projectile au choc, pour le cas où l'appareil concutant ne fonctionnerait pas. L'appareil percutant permet aussi de régler le tir par l'observation de l'éclatement au choc.

La figure 12, Pl. IV, représente la fusée à double effet. Au moment du départ, le rugueux H, projeté en arrière, vient enflammer l'amorce *h*, qui communique le feu à une rondelle de poudre comprimée T, dont les gaz enflammés se répandent dans l'espace vide *t*. Quand ces gaz arrivent au contact du tube fusant E, ils en provoquent l'inflammation. Ce tube a une section demi-circulaire, et il est logé dans une rainure hélicoïdale creusée à la surface d'un barillet conique en plomb C. Un corps de fusée A reçoit ce barillet, qui est maintenu par un écrou D. Par-dessus le barillet est un chapeau en bronze F, destiné au réglage et fixé par l'écrou G. Le tube aboutit dans un canal *m* rempli de poudre de chasse, qui communique le feu à la charge en passant par l'appareil percutant. A la partie inférieure, la fusée est complétée par un appareil Budin. Le chapeau de réglage est percé de trous,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans lesquels on peut enfoncer un poinçon, qui traverse le tube et le barillet en plomb et débouche en *t*. Le feu se communique au tube à l'endroit du trou ou évent, dont la position est déterminée par le chapeau de réglage. Sur ce dernier est tracée une ligne hélicoïdale correspondant au tube, et percée de trous espacés entre eux de la distance représentant la longueur de tube brûlée en une seconde. De plus, le chapeau peut prendre un mouvement angulaire égal à la distance angulaire entre deux trous. Au bas du corps de fusée, qui est fixe, cette distance est divisée en 10 parties égales ; chacune d'elles correspond à 1/10 de seconde. Le point zéro du chapeau parcourt cette division. Si donc on veut, par exemple, faire éclater le projectile au bout de $2^s,5$, le zéro du chapeau étant au zéro de la division en dixièmes, on fait tourner le chapeau pour l'amener à la division 5, et l'on perce l'évent marqué 2 secondes. Le tube brûlera donc pendant $2^s,5$ et produira l'explosion au bout de ce temps.

EFFETS DES DIVERS PROJECTILES

§ 201. **Destination des divers projectiles.** — Les boulets pleins en fonte dure et les obus de rupture en acier sont spécialement destinés à attaquer les cuirasses. On leur donne donc la plus grande force vive possible ; à cet effet, leur poids représente trois fois celui du boulet rond de même calibre, et on les tire avec la *grande charge de combat*.

Les obus en fonte ordinaire, tout à fait impuissants contre les cuirasses, s'emploient dans les autres cas. Comme leurs effets dépendent beaucoup, particulièrement pour les gros calibres, de la charge d'éclatement qu'ils contiennent, on leur donne une chambre aussi grande que possible ; les parois cylindriques et le culot n'ont pas une forte épaisseur, et l'on ne peut les lancer qu'avec une charge réduite, dite *petite charge de combat*. Toutefois, comme ils ne pèsent que le 1/6 du poids du boulet de rupture, les vitesses initiales sont à peu près les mêmes pour les deux sortes de projectiles.

Les obus ordinaires traversent sans difficulté tous les pavois et les murailles en tôle, en un mot, les œuvres mortes non

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cuirassées des bâtiments en fer. Les obus de petit calibre (16, 14, 10^{cm}) destinés à ce genre de tir sont munis de mécanismes percutants (M^{le} 70) sensibilisés, qui les font éclater pendant qu'ils traversent ces tôles minces.

Plus l'épaisseur traversée est faible, plus il importe que l'explosion se fasse durant le passage du projectile, afin de multiplier les éclats. Aussi a-t-on été conduit, pour le cas spécial des parois minces, à essayer les obus à balles du système de la Guerre. Les expériences exécutées à Gâvre, avec des canons de 65 et de 90^{mm}, ont donné de très beaux résultats.

L'obus à balles est le meilleur projectile qu'on puisse employer à grande distance contre un ennemi peu ou pas abrité. Toutes les pièces de la Guerre, y compris l'artillerie de côte, tirent des obus à balles. C'est, avec la boîte à mitraille réservée pour les très petites distances, le seul projectile admis à présent pour les canons de 80 et de 90^{mm} de campagne. Non seulement le nombre considérable des éclats le rend très meurtrier, mais sa charge d'éclatement et la force vive qu'il possède lui assurent une grande puissance de destruction.

Armé de la fusée Budin, ce projectile lancé contre un mur n'éclate pas en arrivant; mais en vertu de sa force vive, il traverse en se brisant, à moins que le mur ne soit très épais. En général les murs de ferme, de clôture, etc., sont impuissants contre les projectiles de 80 et de 90^{mm}. Dans un mur de 0^{m},50 d'épaisseur, on ferait brèche à 1.300^{m} avec des obus de 90^{mm}, à raison de 1 1/2 par mètre courant.

§ 202. **Pénétration dans les cuirasses**. — La pénétration des projectiles dans les murailles cuirassées a été formulée par M. Hélie, dans son *Traité de balistique expérimentale*, de la manière suivante :

Supposons une muraille homogène; soient p le poids du projectile en kilogrammes, a son diamètre en mètres, ε l'épaisseur de la muraille en mètres, W la vitesse strictement nécessaire à la perforation. M. Hélie admet que, quand un projectile traverse une muraille homogène, on peut établir une relation entre le vide qu'il y produit et la force vive qui a assuré son passage.

La grandeur du vide formé est à peu près proportionnelle à $a^2\varepsilon$.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Au moment du choc la force vive est proportionnelle à $p\,W^2$. Le rapport de la force vive au vide est donc $\frac{p\,W^2}{a^2\varepsilon}$.

Posons

$$\frac{p\,W^2}{a^2\varepsilon} = H.$$

Il est évident que ce rapport doit varier en général avec la valeur de $\frac{\varepsilon}{a}$; on peut donc écrire

$$\frac{p\,W^2}{a^2\varepsilon} = H\,\varphi\left(\frac{\varepsilon}{a}\right),$$

d'où

$$(1) \qquad p\,W^2 = H\,a^2\varepsilon\,\varphi\left(\frac{\varepsilon}{a}\right).$$

L'hypothèse la plus simple consiste à prendre

$$\varphi\left(\frac{\varepsilon}{a}\right) = \left(\frac{\varepsilon}{a}\right)^n;$$

d'où

$$(2) \qquad p\,W^2 = H\,a^2\varepsilon\left(\frac{\varepsilon}{a}\right)^n.$$

Il reste à déterminer dans chaque cas la valeur de l'exposant n.

On a fait une série d'expériences pour déduire d'abord les valeurs de n, ensuite celles de $W\sqrt{p}$ et de $W\sqrt{\frac{p}{a}}$. Les nombres trouvés ne peuvent s'accorder avec la formule (2) qu'autant qu'on fait $n = 1$.

On obtient alors

$$p\,W^2 = H\,a\,\varepsilon^2.$$

Mais cette formule suppose que la qualité des plaques reste la même, quelle que soit leur épaisseur.

Dans trois expériences faites pour obtenir la valeur de H, on est arrivé à $H = 40.060$, $H = 41.850$ et $H = 39.650$: soit en moyenne 40.955. Ces chiffres sont assez peu différents pour que la formule semble justifiée. La valeur de H décroît quand ε augmente, parce que, en général, la qualité des plaques diminue en même temps que leur épaisseur devient plus grande.

§ 203. **Murailles en bois**. — On a entrepris à Gâvre, en 1878, des expériences de perforation avec un canon-revolver de 47^{mm}.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

u étant la vitesse strictement nécessaire à la perforation du matelas en bois d'épaisseur E, p le poids du projectile en kilogrammes, a son diamètre en mètres, on a trouvé

$$u = 6.200\,\mathrm{E}^{0,6}\,\frac{a^{0,9}}{p^{0,5}}.$$

§ 204. **Murailles en bois cuirassées.** — Nous venons de déterminer la perforation d'une plaque homogène isolée et celle d'une muraille en bois. On peut en déduire la perforation de la muraille composée de la plaque et du matelas en bois. La force vive nécessaire pour perforer la muraille complète, doit être au moins égale à la somme des forces vives qu'il faut employer pour percer chaque muraille isolée.

$$pV^2 = pW^2 + pu^2,$$

d'où :

$$V^2 = W^2 + u^2,$$
$$W^2 = V^2 - u^2.$$

A la suite de nombreuses expériences, on est arrivé à déterminer la valeur de W par une formule assez compliquée. Mais on a reconnu aussi que quand l'épaisseur ε restait comprise entre 15^{cm} et 44^{cm}, on obtenait une approximation suffisante avec la relation

$$W = 25.180\,\varepsilon^{0,7}\sqrt{\frac{a}{p}}.$$

Il existe toujours une différence entre les résultats de l'expérience et ceux que donne l'équation. C'est que la qualité des plaques n'est pas pas toujours la même, et que les boulets des diverses provenances éprouvent des déformations bien différentes. La formule n'est, du reste, applicable qu'à des projectiles ayant des formes à peu près semblables à ceux de la Marine.

§ 205. **Plaques en acier.** — On n'a pas encore déterminé la vitesse que doivent avoir les projectiles pour traverser des plaques en acier. On a fait seulement des expériences comparatives sur des plaques d'égale épaisseur, les unes en fer forgé, les autres en acier. Les projectiles qui traversaient les premières étaient arrêtés par les secondes, tout en ayant la même vitesse dans les deux cas. Les plaques de fer n'étaient endommagées

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que dans le voisinage de la partie choquée, tandis que celles d'acier présentaient des fentes s'étendant dans toute leur épaisseur.

§ 206. **Tir oblique.** — Soit un projectile traversant obliquement une plaque. ε désignant, comme précédemment, l'épaisseur de la plaque et W la vitesse nécessaire à la perforation en tir normal. Appelons i l'angle que fait avec la normale le projectile pénétrant obliquement, et W_i la vitesse qui détermine son passage. Le projectile peut être regardé comme traversant une plaque d'épaisseur égale à $\frac{\varepsilon}{\cos i}$.

Si l'on suppose que la qualité du métal reste la même, les vitesses W et W_i doivent être proportionnelles aux épaisseurs ε et $\frac{\varepsilon}{\cos i}$; et l'on a

$$W_i = \frac{W}{\cos i}.$$

Cette formule est vérifiée par l'expérience, du moins tant que l'angle d'incidence ne surpasse pas 25°.

§ 207. **Variations des deux facteurs de la force vive.** — Les formules précédentes montrent que la perforation dépend du produit pV^2. Cependant, en conservant à ce produit la même valeur, on peut faire varier les deux facteurs et obtenir des résultats différents.

Des expériences ont été faites à Gâvre avec des projectiles de 10^{cm} présentant divers poids, par conséquent différentes longueurs.

Les projectiles essayés avaient à peu près la même force vive, et ils étaient dirigés contre une plaque en fer forgée. Les plus lourds seuls ont traversé la plaque. Voici comment ce fait peut être expliqué :

Dans le choc contre la plaque, la partie antérieure du projectile éprouve un grand ralentissement, qui ne se propage pas aussitôt à l'arrière. L'avant et l'arrière ont pendant quelque temps des vitesses différentes ; de là une cause de déformation d'autant plus grande que le choc est plus fort et la longueur du projectile plus grande. Mais si pV^2 reste constant, l'allongement qui augmente le poids diminue la vitesse, et, par suite, le choc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il y a donc une longueur à laquelle correspond le minimum de déformation et le plus grand effet du projectile. Cette longueur dépend de la constitution de la plaque aussi bien que de celle du projectile. On ne peut donc généraliser les résultats de quelques expériences particulières.

§ 208. **Plaques de cuirasse.** — Pendant de longues années, le seul métal employé pour la fabrication des cuirasses a été le fer forgé. Depuis peu, on a essayé de lui substituer des plaques en acier, puis des blindages en fer avec couverture d'acier, et enfin des plaques en acier fondu martelé et trempé.

Le fer forgé est un métal relativement mou, ductile, susceptible de recevoir de grandes déformations sans donner lieu à des ruptures. Le projectile ogival s'y enfonce en refoulant devant lui les molécules qu'il déplace ; l'effet est purement local. L'acier, au contraire, est dur et rigide. Le choc du boulet n'est pas localisé ; il se transmet à la plaque entière, dont toutes les molécules sont ébranlées. Aussi l'acier employé seul est trop cassant. Un même projectile qui pourra traverser une plaque en fer, sera peut-être arrêté par le blindage en acier. Mais ce dernier sera fendu et désagrégé, au point que les fragments se détacheront de la muraille.

§ 209. **Plaques Compound.** — On a été conduit par ces considérations à combiner ensemble le fer et l'acier pour la construction des plaques dites *Compound*. L'acier placé à l'extérieur leur assure une grande dureté ; de son côté le fer formant la couche interne remplit le rôle de matelas, et s'oppose à la désagrégation.

§ 210. **Plaques Schneider.** — Enfin le Creusot fabrique, depuis quelques années, des plaques en acier doux coulé, que l'on martèle ensuite au marteau-pilon. Elles offrent une résistance supérieure aux plaques Compound, avec un prix de revient moins élevé. La dureté du métal est augmentée par une trempe à l'huile sur une petite épaisseur suivie d'un recuit. Presque homogène dans sa composition, ce métal réunit les qualités du fer et de l'acier. Des expériences relatives au cuirassement du *Duilio* et du *Dandolo*, exécutées à la Spezzia en 1876, avaient démontré

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la supériorité des plaques Schneider sur celles en fer laminé de provenance anglaise. De nouveaux essais, entrepris en novembre 1882, au polygone de Muggiano, ont établi la très grande supériorité des plaques Schneider sur les plaques Compound de Brown et de Cannuell. Deux projectiles lancés par le canon Armstrong de 100 tonnes ont suffi pour briser la plaque anglaise et dénuder le matelas ; il n'en fallut pas moins de quatre pour détruire la plaque Schneider. D'autres expériences, faites en Danemark, aux mois de mars et de juin 1884, ont encore démontré la supériorité des plaques du Creusot.

§ 211. **Epreuves de recette des plaques de blindage.** — Ces épreuves sont faites à Gâvre, dans les conditions suivantes. La plaque se trouve solidement fixée à un matelas en bois de chêne ou de teck, de 84^{cm} d'épaisseur. Aux sommets d'un triangle équilatéral présentant 80^{cm} de côté, elle reçoit 3 boulets de 32^{cm} en fonte dure, pesant 345^{kg}, avec une vitesse au choc de 450^{m} environ, représentant la vitesse strictement nécessaire pour perforer une plaque en fer de même épaisseur. La muraille doit arrêter les projectiles, et il faut qu'aucun d'eux ne pénètre en tout ou en partie à l'arrière de la muraille. La fourniture est divisée en lots comprenant un certain nombre de plaques ; on choisit dans chaque lot une plaque qu'on soumet à l'épreuve et, suivant le résultat, le lot entier est accepté ou refusé.

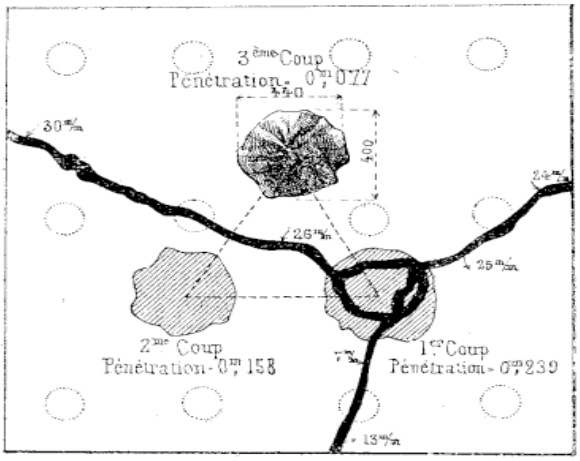


Fig. 39.

Par exemple, pour le premier lot de la ceinture du *Terrible*, on a essayé, le 9 juillet 1881, une plaque ayant 2^{m},37 de long sur 2^{m},22 de large avec une épaisseur de 40 à 50^{cm}. Au premier coup, la profondeur de l'empreinte a été de 239^{mm} ; au second 158^{mm} ; et au troisième 77^{mm} seulement. La figure 39 représente la plaque après le tir ; les fentes ne dépassent pas

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

30mm. C'est à partir de ce moment que s'est affirmée la supériorité des produits du Creusot.

Le vieux principe des cuirasses admettait que deux projectiles ne viendraient jamais frapper à la fois au même point. Mais, avec la mise en feu électrique, cette hypothèse n'a plus la même raison d'être ; et il est permis de se demander comment des plaques en acier se comporteraient sous un tir convergent bien ajusté. Une expérience faite en Prusse en 1875, et qui eut alors un grand retentissement, permet de prévoir le résultat :

4 canons de 26cm, avec boulet de 150kg et mise en feu électrique, furent pointés normalement sur une muraille sandwich placée à 200 mètres, et formée de 250mm de fer en dehors, 203mm de teck et 250mm de fer en dedans. Une brèche énorme fut produite par ce feu convergent, tandis qu'un projectile seul eût été tout à fait impuissant.

On peut admettre que contre une cuirasse d'acier les effets d'une pareille décharge seraient terribles, même avec les projectiles actuels.

§ 212. **Cuirassement des ponts**. — On a reconnu depuis quelques années qu'il ne suffisait pas de cuirasser les flancs du navire, et qu'il fallait aussi protéger les ponts contre l'artillerie ; car un projectile venant à les percer et éclatant dans le fond du navire peut détruire la machine ou provoquer une forte voie d'eau. Mais le tir contre les ponts ne se fait pas de plein fouet ; la force vive du projectile est donc moins considérable, et la protection exige des plaques moins épaisses que pour les flancs. L'épaisseur des plaques varie maintenant de 8 à 10cm. Elles sont supportées par un plafond en tôle d'acier de 11mm d'épaisseur, reposant sur des barrots écartés de 70 à 80cm et reliés par des entretoises. Par-dessus le plafond se trouve un matelas en bois de teck ayant de 10 à 15cm d'épaisseur ; et enfin la plaque est fixée sur le tout.

Les plaques en fer destinées au cuirassement de ponts sont éprouvées avec le canon de 16cm, et avec une vitesse au choc donnant une perforation moitié de celle qui est nécessaire à la perforation stricte. On tire normalement cinq projectiles aux quatre sommets et au centre d'un carré de 25cm de côté.

Les plaques de pont sont encore presque toutes en fer. On a

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cependant commencé à employer l'acier. Des expériences furent faites à Gâvre, en juillet 1880, sur deux plaques de pont présentant 8^{cm} d'épaisseur, l'une en fer provenant de Saint-Chamond, et l'autre en acier du Creusot, avec un canon de 27^{cm}, M^{le} 1870, tirant un obus de rupture en acier de 216^{kg}; elles montrèrent que dans la plaque en acier toutes les empreintes étaient fragmentées et largement débouchées, tandis que dans la plaque en fer il n'y avait aucun fragment détaché. Sur cette dernière plaque, les fentes étaient sensiblement limitées à l'empreinte elle-même ; sur la plaque en acier elles s'étendaient assez loin des bords de l'empreinte.

A cette époque, la commission d'expériences avait pensé que, pour le revêtement des ponts cuirassés, il fallait proscrire l'emploi de l'acier. Maintenant, en raison des progrès faits par la métallurgie de ce métal, on tend à en préférer l'emploi.

On voit, par la nécessité de frapper le navire dans ses parties les plus vulnérables, l'utilité des feux courbes. Les mortiers sont dès lors les pièces destinées à attaquer les ponts, qui, même cuirassés, ne pourront leur résister. Dans ces attaques, la force de pénétration du projectile augmente avec l'angle de chute ; mais celui-ci variant comme l'angle de départ, on ne peut dépasser une certaine limite, qui est de 60°, sans risquer de n'avoir plus de justesse.

Même sans qu'il pénètre, le projectile produit toujours de grands dégâts ; les barrots cèdent sous le choc, et il s'en détache des fragments, indépendamment d'une pluie de rivets et d'éclats de toutes sortes provenant de la plaque, du matelas et du plafond en tôle.

§ 213. **Pénétrations dans différents milieux**. — Les navires pouvant être appelés à attaquer des fortifications en maçonnerie, des batteries construites en terre et en sable, il est utile de connaître les pénétrations des projectiles ogivaux dans ces milieux. Le tableau suivant donne des résultats d'expériences faites avec des obus lestés (en employant des obus chargés et éclatant, la pénétration serait moindre) :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

OBUS LESTÉS de	VITESSE restante	PÉNÉTRATION dans le sable	PÉNÉTRATION dans la terre argileuse	ÉPAISSEURS HORIZONTALES à partir desquelles ces projectiles ne traversent plus : Sable	ÉPAISSEURS HORIZONTALES à partir desquelles ces projectiles ne traversent plus : Terre argileuse
cm.	mètr.	mètr.	mètr.	mètr.	mètr.
16	405	4,50	5,60	6,00	7
27	405	»	8,00	8,50	11

M. Hélie a établi la formule ci-après :

$$Z = N\frac{p}{a}\log(1 + bV^2),$$

qui résume les résultats de toutes les expériences faites sur la pénétration des projectiles ogivaux dans les divers milieux : maçonnerie, terre, sable, etc.

Z est la pénétration en mètres, p est le poids du boulet en kilogrammes, a son calibre en décimètres, V sa vitesse au choc ; b et N sont deux constantes qui dépendent de la nature du milieu à pénétrer.

L'épaisseur E à donner à un parapet se calcule par la formule

$$E = \frac{3}{2}Z.$$

Pour une muraille en bois on a

$$E = \frac{4}{3}Z.$$

M. Hélie a dressé le tableau suivant, qui donne les valeurs à attribuer aux constantes b et N :

COEFFICIENTS	SABLE ou gravier	TERRE végétale rassise	ARGILE de potier mouillée	CHARBON de terre : tassé	CHARBON de terre : très bien tassé	MURAILLES EN BOIS : Chêne	MURAILLES EN BOIS : Orme	MURAILLES EN BOIS : Sapin	MAÇONNERIE : bonne	MAÇONNERIE : en briques
b	0,0002	0,00008		0,000025		0,00002		«	0,000015	
N	5,6	13,5	37,5	0,263	0,383	0,303	0,465	0,640	0,181	0,316

Une voûte de 1 mètre d'épaisseur à la clef, en maçonnerie or-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dinaire, recouverte de 4m,60 de sable, résiste à l'obus lesté de 27cm possédant une vitesse de 405 mètres. Avec 3 mètres de sable, la voûte est fissurée; avec 1m,50 de sable, la voûte est percée.

§ 214. **Blindage en fonte dure**. — A terre, on tend de plus en plus à adopter le blindage en fonte dure pour la protection des batteries de côte, et même pour les places fortes. La fonte dure est très résistante, et ce genre de blindage procure une protection assez efficace. De plus, à terre, comme on n'a pas à s'occuper de la question de poids, on peut augmenter considérablement l'épaisseur de la cuirasse.

On a fait dernièrement, à la Spezzia, des expériences assez intéressantes sur une plaque en fonte dure. Il s'agissait d'éprouver la résistance d'un voussoir faisant partie d'une des deux coupoles commandées par le gouvernement italien à l'usine Gruson. Ces coupoles sont destinées à recevoir chacune deux canons Krupp de 40 centimètres présentant une longueur de 35 calibres.

La plaque d'essai, ayant 0m,85 à la partie supérieure et 1m,75 en bas, pesait environ 88 tonnes. Elle fut installée sur le rivage, au pied d'une paroi de rochers, et solidement appuyée contre un massif de maçonnerie, pour y subir trois coups de canons Armstrong de 43cm (100 tonnes), placé à 133 mètres de distance sur un ponton en fer. Les projectiles en acier Krupp pesaient 1.000kg; la charge comportait 375kg de poudre prismatique brune de Cologne, donnant une vitesse de 537 mètres à l'arrivée et une force demi-vive correspondante d'environ 14.700 tonnes-mètres.

Les trois projectiles, tirés à quelques jours de distance, rencontrèrent la plaque sous des angles de 40°, 44° et 35°, en des points où l'épaisseur était de 1m,25, 1m,75 et 1m,05. Ils produisirent des empreintes de 0m,05, 0m,10 et 0m,05, et furent tous brisés. Les points d'impact étaient distants d'au moins 0m,80, et n'étaient situés ni sur le même parallèle ni sur le même méridien. A partir de chacun d'eux rayonnaient des fissures dont quelques-unes étaient visibles à l'intérieur. Plusieurs fragments de métal, dont un de 0m,20 d'épaisseur, furent détachés de la surface extérieure; d'autres plus petits furent projetés à l'intérieur. Après le troisième coup, la plaque, qui avait supporté un choc de 44.100 tonnes-mètres, offrait encore une résistance plus que suffisante.

L'expérience fut continuée sur la même plaque avec un canon

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 15cm; le projectile pesait 36kg, et la vitesse d'arrivée était de 500 mètres. Malgré l'état de la plaque déjà entamée par le tir précédent, les projectiles se brisèrent tous. On en conclut que les plaques en fonte durcie, inclinées de manière à ne pas recevoir normalement les chocs, résisteraient aux plus forts projectiles.

C'est sur ces principes que l'on a basé la construction des coupoles blindées destinées à protéger dans les forts les canons et leurs servants.

§ 215. **Tir contre les cofferdams.** — Comme l'ont démontré les expériences de Toulon (1881), on obtient une bonne protection contre l'artillerie avec des compartiments en tôle bourrés d'une matière fibreuse et élastique. C'est ce qu'on appelle un *cofferdam*.

On a fait des expériences sur des cofferdams composés de bourre de coco et de cellulose. On a tiré à 50m normalement un boulet de 27cm ; et à bout portant, sous un incidence de 40cm, un obus de 14cm. Le boulet a traversé de part en part ; mais la matière se dilatant a bouché le trou. Il en a été de même pour l'obus de 14cm qui a éclaté. La quantité d'eau introduite était insignifiante, environ 12 litres par minute.

Mais il faudrait que la matière fût rendue incombustible, ce qu'on obtiendra sans doute par un procédé chimique. Des navires protégés de cette manière à la flottaison seraient pour ainsi dire invulnérables avec les obus ordinaires ; car on ne peut plus les attaquer que par le pont, ce qui est difficile, à cause du peu de justesse que donne le tir en bombe sur un navire en marche. Mais les obus à la mélinite remettent tout en question.

§ 216. **Expériences diverses.** — On a entrepris en Angleterre de nombreuses expériences sur la *Résistance*, ancien cuirassé de la flotte. Nous pouvons citer entre autres celle qui a été faite en dernier lieu, pour expérimenter l'effet protecteur de feuilles de caoutchouc et de fibres d'asbeste sur la partie non cuirassée de la coque. Ce navire, qui est en fer, a 6.273 tonnes de déplacement; sa cuirasse présente environ 12cm d'épaisseur, et repose sur un matelas de bois de teck de 45cm.

Pour l'expérience en question, on avait construit en dedans de la muraille de bâbord, au milieu et au-dessous de la partie cui-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rassée, à l'endroit où cette muraille n'a que 21^{mm} d'épaisseur, quatre compartiments étanches ; chacun d'eux présentait 1^{m},22 de profondeur, 1^{m},52 de largeur et une longueur variant de 3 à 4^{m}, formant ainsi une sorte de compartiment étanche longitudinal. L'intérieur des compartiments était garni de feuilles de caoutchouc d'épaisseurs différentes, depuis 13^{mm} dans l'un jusqu'à 26 et 38^{mm} dans les autres. A l'extérieur de la muraille de tribord était placée une feuille de caoutchouc de 26^{mm} ; et à l'intérieur on avait construit une cellule circonscrite remplie de fibres d'asbeste pressées. Des deux côtés, les installations couvraient la flottaison.

Quand la ***Résistance*** fut arrivée à son poste, on lui donna sur tribord une forte inclinaison, en déplaçant 200 tonnes de lest, de manière à mettre tout à fait hors de l'eau la partie de la muraille de bâbord sur laquelle on voulait opérer. A 90^{m} de distance du cuirassé, la canonnière ***Pincher*** fut amarrée à une bouée ; et elle attaqua le quatrième compartiment, le plus éloigné de l'étrave, avec un canon à tir rapide ayant un calibre un peu supérieur à 50^{mm}, et lançant un obus de 2^{kg},720, qui portait une charge explosive de 152 grammes.

Le ***Blazer*** remplaça ensuite le ***Pincher***, et attaqua le compartiment n° 3 avec le canon de 127^{mm} de calibre, qui lance un obus de 15^{kg},2 portant une charge explosive de 2^{kg},153.

On constata, après ce tir, que les deux projectiles, même le plus léger, avaient non seulement traversé la cloison étanche, comme on s'y attendait, mais encore mis en pièces le revêtement de caoutchouc.

Après que les trous eurent été tamponnés, la ***Résistance*** fut redressée, de manière à mettre hors de l'eau le doublage en caoutchouc appliqué à l'extérieur du côté de tribord et la cellule remplie de fibres d'asbeste. Ces deux parties furent alors attaquées séparément avec le projectile de 2^{kg},720, trois coups étant tirés contre le doublage en caoutchouc et un contre la cellule.

En examinant à l'intérieur la partie de la coque recouverte de caoutchouc, qui avait été traversée, on ne trouva pas de trous proprement dits, mais une série de fentes radiales. Le caoutchouc extérieur n'avait pas été déchiré. L'ouverture faite par le coup tiré contre la cellule était presque complètement fermée, laissant pourtant pénétrer un peu d'eau. Les fibres d'asbeste avaient constitué un obturateur, non à cause de leur élasticité ou

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de leur gonflement, mais en se transformant par l'absorption de l'eau en une sorte de pâte ou de mastic.

M. A. M. Wood a inventé un nouveau composé de caoutchouc qui a reçu le nom de *woodite;* il possède l'élasticité du caoutchouc, avec l'avantage d'être ininflammable et incorruptible à l'eau salée. Il s'appliquerait donc bien sur les flancs des navires ; et l'on propose d'en garnir les murailles non cuirassées des bâtiments et surtout celles des bateaux torpilleurs, non pour les garantir absolument, mais pour boucher les ouvertures faites par les projectiles. Cette matière a en effet la propriété d'ouvrir passage aux projectiles et de se resserrer ensuite de manière à empêcher l'eau d'entrer.

Une expérience a été faite à Dartford sur une cible formée de 36 cubes de woodite, ayant 8 pouces d'épaisseur, avec une plaque en fer forgé de 3/8 de pouce. Trois coups de projectiles solides de 3 livres et du calibre de 2 pouces 1/4 ont été tirés à angle droit et deux à 45°. Tous les projectiles ont traversé la cible, emportant les morceaux de la plaque, mais endommageant si peu la woodite qu'il fallut un examen attentif pour y retrouver les trous. Ceux-ci n'avaient pas plus de 3/8 de pouce de diamètre, quelques-uns 1/4, et ils s'étaient complètement refermés à l'intérieur.

Il resterait à faire l'expérience avec des obus, surtout à la mélinite ; mais les résultats que nous venons de citer montrent déjà les applications que la woodite peut recevoir.

§ 217. **Rendement des canons.** — Un point fort important à connaitre est le *rendement d'un canon*, c'est-à-dire la puissance vive par chaque tonne ou chaque kilogramme de la bouche à feu. C'est le seul moyen de savoir si le constructeur a tiré le meilleur parti de la quantité de métal employée.

Pour le matériel de bord et celui de campagne surtout, c'est sur ce fait que doit se porter en premier lieu l'attention. Mais comme on ne peut diminuer le poids du canon que dans une certaine limite, sous peine d'être obligé de renforcer considérablement l'affût, il importe de connaître le rendement par rapport au poids total du canon et de l'affût.

Le rendement par kilogramme de poudre n'a pas le même intérêt : parce que d'abord le poids de la gargousse n'a qu'une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

importance relative ; ensuite la nature de la poudre change chaque jour, surtout depuis que l'on est entré dans la voie des poudres lentes.

Il convient de remarquer qu'à chaque canon d'un calibre et d'un type déterminés, correspond une poudre qui procure de meilleurs résultats que toute autre, c'est-à-dire qui, sans développer une pression trop forte, imprime le plus de vitesse à un projectile donné.

En général, quand une poudre produit une pression à la culasse supérieure à 2.600 ou 2.800 atmosphères, on dit qu'elle est trop vive pour le canon.

A l'appui des considérations que nous venons d'énoncer, nous citons comme exemple le tableau suivant, que nous empruntons à un rapport fait par M. Dupuy de Lome en 1884 à l'Académie des sciences. Ce document contient des renseignements intéressants sur la valeur de plusieurs pièces, et nous montre comment on peut les comparer entre elles.

DÉSIGNATION HABITUELLE DES CANONS.	16 centimètres. Construit par les Forges et Chantiers	16 centimètres. De la Marine française	6 pouces anglais, Armstrong	6 pouces anglais n° 2	6 pouces anglais n° 3	15 centimètres, Krupp de 35 calibres	17 centimètres, Krupp de 35 calibres
Calibre exact du canon (en millimètres).	161	164,7	152,4	152,4	152,4	149,1	172,6
Diamètre à la chambre à poudre (en millimètres)	200	173	190,5	203,2	203,2	175	200
Diamètre de l'obturateur de culasse (en millimètres)	174	195,4	»	203,2	203,2	198	226
Longueur du canon (en millimètres)	5.890	4.667	4.206	4.204	4.336	5.220	6.040
Longueur d'âme (en millimètres)	5.682	4.614	3.962	3.962	3.891	4.400	5.635
Poids du canon (en kilogrammes)	6.200	5.100	4.060	4.115	4.520	4.770	7.520
Poids du projectile (en kilogrammes)	60	45	36,3	45,4	45,4	39	60
Poids de la charge de poudre (en kilogrammes)	32,5	22,5	15,4	15,4	19,4	17	26
Vitesse à la sortie de la bouche (en mètres par seconde)	632	605	573	513	573	605	605
Pression maxima constatée avec la poudre adoptée pour chaque pièce (en atmosphères)	2.250	2.800	2.250	2.000	2.000	2.600	2.600
Effort maximum de poussée longitudinale des gaz mesuré au plus grand diamètre (en kilogrammes)	706.000	837.000	641.000	648.000	875.000	870.000	1.002.000
Puissance vive à la sortie (en tonneaux-mètres)	1.222	840	608	609	760	728	1.119
Puissance vive par centimètre de circonférence du projectile (en tonneaux-mètres)	24,3	16,4	12,7	12,7	15,9	15,5	20,6
Épaisseur de la plaque de fer doux traversée normalement à bout portant (en centimètres)	35,3	26,7	22,2	22,2	26,1	25,6	31,4
Rapport de la puissance vive du projectile au poids du canon	197	168	148	148	168	153	149
Comparaison de ces rapports, celui du canon construit par les Forges et Chantiers étant pris pour unité	1	0,80	0,76	0,75	0,85	0,77	0,75

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CONSERVATION DES MUNITIONS

§ 218. **Gargousses.** — Les charges de poudre sont constituées, comme nous l'avons dit, avec des poudres variables suivant la bouche à feu et les effets à obtenir.

Ces charges sont contenues dans des enveloppes en forme de sacs, appelées *gargousses*, ou *sachets* pour les petits calibres.

Dans l'ancienne artillerie lisse et avec les premières bouches à feu rayées, on se servait concurremment de papier parchemin et de serge pour la confection des gargousses. En 1854, des essais avaient conduit à remplacer la serge par la bourre de soie ; mais on reconnut que cette étoffe s'altérait complètement au contact de la poudre dans les climats chauds et humides ; et l'emploi en a été proscrit dans la Marine.

Quand les poudres à gros grains furent introduites dans le service de l'artillerie rayée puissante, on constata qu'il était impossible de conserver le papier parchemin avec des charges atteignant 10 à 12^{kg} ; car les angles des grains coupaient rapidement l'enveloppe. On recourut alors à la *serge dite forte* ou *serge Boca*, qui est rendue peu extensible par un procédé spécial de fabrication ; elle permet de donner aux gargousses des plus forts calibres une grande rigidité par un tassage énergique.

L'emploi de cette serge a été prescrit pour la confection des gargousses destinées aux calibres de 19^{cm} et aux calibres supérieurs des divers modèles depuis 1864. La force du tissu varie suivant le calibre.

Le papier parchemin a été conservé pour les gargousses des calibres inférieurs au 19^{cm}, et pour les charges de salut des canons de tous calibres.

La gargousse en papier parchemin est constituée par un rectangle à franges enroulé en forme de cylindre et un culot circulaire ; ces deux parties sont réunies par encollage.

La gargousse en serge se compose d'un rectangle et d'un culot cousus ensemble avec de la laine ou de la soie.

§ 219. **Conservation des poudres.** — A bord, les poudres disposées en gargousses sont conservées dans des caisses en cuivre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les modes de fermeture sont très variés. Mais depuis 1886, on a adopté comme réglementaire la fermeture Dopfeld, à charnière et à croisillon extérieur.

Le croisillon est à quatre branches (fig. 40) ; il vient s'engager en dessous du rebord du dormant qui supporte le couvercle ; deux parties évidées aux extrémités d'un des diamètres de l'ouverture de la caisse permettent de retirer le croisillon en le faisant tourner. Au centre se trouve une vis, dont la tête pourvue d'un évidement à section carrée sert à la manœuvre de la clef. Cette vis s'introduit dans un écrou fixé au centre du couvercle ; ce dernier est alors appliqué fortement sur le dormant garni de feutre suifé, en dévissant un peu la vis.

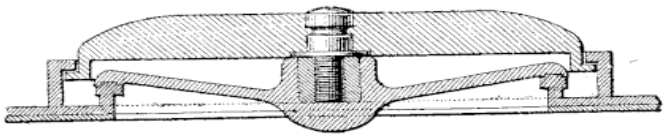


Fig. 40.

§ 220. **Soutes à poudre.** — Les caisses sont arrimées à bord dans des *soutes*, dont les installations diffèrent avec chaque type de bâtiment.

Cependant, au point de vue général, on a reconnu la nécessité de diviser l'approvisionnement du navire en plusieurs parties ; et on a établi des soutes à l'avant, à l'arrière, à tribord et à bâbord.

Les caisses sont placées horizontalement dans les soutes, sur des étagères de dimensions appropriées aux modèles de ces caisses ; et elles sont maintenues au roulis par des liteaux.

Les rangées de caisses sont séparées par des coursives éclairées chacune par un fanal, qui est placé au milieu d'une guérite fermée par deux glaces du côté de la soute.

Chaque calibre doit avoir son passage différent.

Les caisses contenant les étoupilles fulminantes, le fulmi-coton et tous les artifices, ne doivent jamais être renfermées dans les soutes à poudre. Ainsi que les caisses à cartouches, elles sont logées à bord dans des soutes spéciales.

§ 221. **Soutes à projectiles.** — Les obus de combat sont renfermés par couches dans des soutes construites et éclairées comme celles à poudre.

Le plan inférieur repose sur des liteaux munis d'encastrements,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de manière que les ceintures, tenons, etc., soient protégés. Les différentes couches sont séparées les unes des autres, dans le même but, au moyen de bouts de filin ou de fils de fer.

Les passages des projectiles varient suivant les emménagements des bâtiments. Le plus souvent les projectiles de gros calibres sont hissés des soutes avec des palans, et conduits aux trous de passage à l'aide de lunettes, que l'on fait courir à la main sur un chemin de fer fixé aux baux. On emploie aussi pour le même usage les palans différentiels.

Pour le service des pièces dépassant le calibre de 27^{cm}, on se sert généralement de machines hydrauliques, dont l'emploi nécessite des soutes et des passages disposés d'une façon spéciale. Nous reviendrons sur ce sujet dans un chapitre suivant.

§ 222. **Approvisionnement et munitions**. — L'*approvisionnement* est compté à raison de 105 coups, charge de combat, pour canon de 27^{cm} et au-dessous (dépêche de mars 1880). Sur ces 105 coups, il y a 5 coups à mitraille pour tous les calibres, sauf pour le 10 et le 14, qui en reçoivent 10.

Les canons qui lancent des projectiles de rupture reçoivent 60 coups, lorsqu'ils sont en batterie couverte, et 30 lorsqu'ils sont en barbette.

Pour les canons de 34^{cm}, l'approvisionnement comporte 80 coups, dont 60 à boulet de rupture, lorsque les pièces sont dans des réduits ; il est de 90 coups, dont 60 de rupture, lorsqu'elles tirent en barbette.

Enfin les canons de 75 tonneaux (37^{cm}) doivent recevoir 70 coups, dont 45 de rupture.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3E PIE. — CHAPITRE IV

CANON-REVOLVER — CANON A TIR RAPIDE — MITRAILLEUSE

CANON-REVOLVER DE 37mm, SYSTÈME HOTCHKISS

§ 223. — Pour lutter contre les torpilleurs, les navires de guerre ont besoin de pièces capables de lancer beaucoup de projectiles en peu de temps, avec une grande justesse et un calibre assez fort pour perforer les tôles de ces bateaux. Le problème a été résolu par le canon-revolver Hotchkiss, des calibres de 37mm et 47mm.

Ces derniers calibres sont destinés à armer les chaloupes. Ils sont employés aussi à bord des navires ; on les place sur le plat-bord et dans les sabords laissés libres par l'artillerie.

Le canon de 37mm sert pour les canots ; on le met également dans les hunes des bâtiments.

§ 224. **Faisceau de canons**. — Le canon-revolver (Pl. VI) est formé de cinq tubes ou canons en acier comprimé Withworth du calibre de 37mm. Un des tubes est représenté en détail sur la figure 3. Les rayures hélicoïdales, au nombre de 12, tournent de droite à gauche ; leur inclinaison est de 6°, ce qui correspond à un pas d'environ 30 calibres ; et le profil est le même dans toutes les parties de l'âme. Les canons ont 20 calibres de longueur ; ils sont maintenus en faisceau entre deux disques en bronze, qui sont fixés à un arbre central en acier. Ce dernier, muni de tourillons à ses deux extrémités, a pour point d'appui, d'un côté, une entretoise en bronze reliant les deux traverses longitudinales du châssis ; de l'autre côté, il repose dans un trou de la plaque de culasse. En arrière de cette plaque, l'arbre porte un écrou en acier muni de cinq tenons (fig. 5), qui sert à lui communiquer le mouvement de rotation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le châssis est en bronze et de forme trapézoïdale. Sur ses deux côtés longitudinaux sont montés les tourillons et deux colliers entre lesquels tournent les disques porte-canons.

Les tourillons sont portés par les branches d'un pivot à fourche que l'on introduit dans un tube servant d'affût.

§ 225. **Boîte de culasse.** — La boîte de culasse est une enveloppe en fonte renfermant le mécanisme. Elle a extérieurement la forme d'un cylindre, dont l'avant est parallèle aux canons ; elle porte à la partie inférieure un fond plat, percé d'une ouverture rectangulaire, où passent les douilles vides enlevées par l'extracteur. Sur ce fond est montée la poignée de culasse, sur laquelle le pointeur appuie la main gauche pendant le tir.

La boîte de culasse est fermée en arrière par une *porte de fermeture*, mobile autour d'un axe horizontal transversal placé en bas, et maintenue contre la tranche postérieure de la culasse par un bouton à vis.

A gauche de la culasse s'ouvre une porte à charnière, qu'on relève pendant le tir, et sur l'ouverture de laquelle on monte le *tiroir de distribution* qui contient les cartouches.

La hausse à rabattement est adaptée sur la culasse.

La boîte de culasse est percée sur la droite d'un trou où passe l'arbre moteur portant l'hélice. Cet arbre est perpendiculaire à l'axe des canons, et porte à l'extérieur un pignon conique engrenant avec un second pignon mis en mouvement par une manivelle.

L'arbre moteur actionne quatre organes : le percuteur, l'écrou à tenons, l'extracteur et le piston chargeur.

§ 226. **Percuteur.** — Le percuteur (fig. 7) est formé d'une tige cylindrique en acier, terminée à l'avant par un épaulement, où se visse une petite pointe conique en acier ; en arrière de la pointe il existe un renflement servant à guider la tige dans son logement. En bas se trouve une crosse destinée à actionner l'appareil. Dans ce but, l'arbre moteur porte une *came* en forme de spirale, dont la courbure s'arrête brusquement. Cette came pousse la crosse en arrière, ce qui comprime un ressort. Quand elle abandonne la crosse, le ressort agit et lance fortement le percuteur en avant. Ce dernier passe dans une petite plaque en acier vissée à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'avant de la boîte de culasse formant grain de lumière et plaque de tir. A la partie inférieure, un canal permet de retirer la pointe en cas de rupture, et sert, au besoin, pour le dégagement du gaz.

§ 227. **Roue hélicoïdale.** — Après la came que nous venons d'examiner, l'arbre moteur est muni d'une roue hélicoïdale en acier, servant à donner le mouvement de rotation à l'arbre central qui porte le faisceau de canons. Cette roue possède une nervure pour actionner les tenons de l'arbre. La nervure présente d'abord un développement hélicoïdal, puis une partie circulaire ; et elle se termine enfin par une portion hélicoïdale ; mais il est à remarquer que le commencement et la fin de cette nervure se croisent par rapport à une génératrice. Ainsi les tenons se trouvent d'abord poussés par la spirale, puis ils glissent sans avancer, et restent immobiles pendant un certain temps. Nous en verrons plus tard la raison.

§ 228. **Extracteur.** — L'extracteur (fig. 8, 9) comporte une pièce à deux griffes en acier laissant entre elles le passage du culot de la douille. Ce culot est fixé à un plateau en bronze susceptible de se mouvoir parallèlement à l'axe des canons d'un mouvement alternatif. Pour cela, il porte une coulisse dans laquelle s'engage le bouton d'une petite manivelle fixée à l'arbre moteur. La rainure de la coulisse comprend une partie circulaire, ayant pour centre l'axe de l'arbre moteur, et se terminant par deux courbes inclinées de façon à produire l'avance ou le recul. L'extracteur, relié à la coulisse, se trouve ainsi entraîné dans un mouvement rectiligne alternatif à vitesse variable, avec temps d'arrêt.

§ 229. **Piston chargeur.** — Le piston chargeur (fig. 8, 9) sert à introduire la charge dans les canons. Il est formé d'un gros cylindre en bronze se mouvant dans un canal placé à gauche et en haut de la boîte de culasse ; ce canal peut se fermer extérieurement par une porte en bronze.

Pour donner au piston chargeur un mouvement de va-et-vient, cet organe, guidé dans sa cheminée, est muni d'une crémaillère engrenant, par l'intermédiaire d'un pignon, avec une seconde crémaillère fixée à l'extracteur. Le piston aura, comme on le voit, le même mouvement que l'extracteur, mais en sens inverse. Pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

empêcher les cartouches d'encombrer le logement, il existe une pièce en acier, mobile autour d'une charnière parallèle à l'axe général et nommée *volet*, qui est relevée ou abaissée par un éperon en acier fixé à l'avant du piston. L'éperon soulève le volet, qui isole ainsi le logement des autres cartouches ; et le piston peut se mouvoir à son aise.

A la partie inférieure et au-dessous du logement de l'extracteur se trouve une fente, pour laisser passer la douille extraite qui est reçue dans un filet. Le tiroir de distribution, en acier et muni d'une fente, vient se placer par deux tenons au-dessus du logement du piston chargeur.

§ 230. **Fonctionnement**. — Les différents mouvements que nous venons de décrire doivent se produire dans un seul tour de manivelle. Comme il y a cinq canons, et qu'un seul fait feu, il faut que dans ce tour de manivelle l'écrou à tenons avance de 1/5 de tour et reste immobile pendant que toutes les autres opérations s'effectuent.

A chaque passage de la partie hélicoïdale de la nervure, le tenon est poussé, et l'écrou tourne entraînant le faisceau des canons. Si le pas de l'hélice est égal à la distance qui sépare les tenons, l'arbre tourne de 1/5 de tour. Le reste de la nervure étant circulaire, le tenon cesse ensuite d'être poussé, et le faisceau reste immobile. C'est pendant cet intervalle que les autres pièces fonctionnent. D'abord le percuteur, successivement pressé et lâché par sa came, est brusquement lancé par son ressort. En même temps, le bouton de la manivelle, entraînant la coulisse, met en mouvement à la fois l'extracteur et le piston chargeur. Ces opérations se font au moment où le faisceau des tubes est immobile. Mais il faut aussi une période d'immobilité pour l'extracteur et le piston, pendant que le faisceau tourne. C'est dans ce but que la coulisse comporte deux arcs de cercle concentriques à l'axe de la manivelle. Tant que le bouton s'y trouve engagé, il se borne à décrire un arc de cercle, sans entraîner la coulisse.

Les deux parties hélicoïdales de la nervure de la roue se croisent par rapport à une génératrice ; de la sorte, quand la nervure va quitter un tenon, le tenon voisin est déjà saisi, et il ne se produit pas d'interruption dans le mouvement.

Comme dans toutes les armes où la douille fait obturation, il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

faut que le mouvement d'extraction soit d'abord lent et progressif, pour ne pas déchirer le culot. La courbe qui se trouve aux deux extrémités de la glissière est calculée en conséquence.

Pour l'introduction de la cartouche, le mouvement doit être énergique et lent. Dans ce but, la cartouche n'est pas poussée à bloc dans son logement par le piston chargeur. La face antérieure de la plaque qui ferme la culasse est creusée d'une rainure à profondeur décroissante ; et à mesure que le faisceau des canons tourne, la douille se trouve progressivement enfoncée à son poste.

La fig. 11 représente la culasse vue par l'avant. Le tube qui fait feu est en bas (1). L'extraction s'opère en (2). Dans le tube (3) a lieu le chargement. Dans les tubes (4) et (5) l'enfoncement de la douille se complète.

Pour l'extraction, le mouvement du faisceau amène le culot de la douille entre les griffes de l'extracteur, qui, à ce moment, est au bout de course en avant et immobile. Puis la rotation des canons cesse, et l'extracteur est entraîné en arrière, emmenant la douille avec lui.

§ 231. **Renseignements divers.**

Poids en kilogrammes.	des cinq tubes rayés	70,0
	de la culasse en fonte	56,5
	de l'arbre central en acier	8,8
	total du canon-revolver	200,0
	du chandelier	36,0
	de la boîte à pivot	19,0
	du châssis en bronze	35,0
Prix en francs.	du canon-revolver	4.450
	du chandelier	220
	de la crapaudine	47

§ 232. **Projectiles, poudre, fusées pour canon-revolver.** — On se sert exclusivement de projectiles creux. Trois obus différents ont été soumis aux épreuves. Un obus en fonte ordinaire pesant, monté et chargé, 421^{gr} ; un obus en fonte ordinaire du poids de 458^{gr},5 ; enfin un obus en acier pesant, monté et chargé, 456^{gr}. Une ceinture médiane en laiton servait à donner le mouvement de rotation à l'obus.

On a essayé divers montages, dans le détail desquels nous ne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

croyons pas utile d'entrer; ces tâtonnements n'ont donné lieu à aucun résultat bien net.

Le chargement intérieur des obus était fait avec la poudre B (§ 49). Les obus en fonte ordinaire contenaient une charge de 26^{gr}; les obus en acier une charge de 20^{gr}.

Pour la charge du canon-revolver, on a employé exclusivement la poudre de guerre du Ripault (§ 43). La charge normale était de 75^{gr}; la densité de chargement correspondante 0,974.

Deux systèmes de fusées ont été essayées comparativement : celle de Démarest que nous avons décrite (§ 199), et celle d'Hotchkiss. Dans cette dernière, le marteau est retenu par deux fils de laiton prisonniers dans une masselotte conique en plomb placée à la base du corps de fusée. Par le choc au départ, cette masselotte est projetée à l'intérieur de l'obus; et le marteau est retenu par la résistance des fils de laiton, qui est suffisante pour empêcher les éclatements dans la partie descendante de la trajectoire. Par le choc à l'arrivée, le marteau surmonte cette résistance; et l'amorce à friction qu'il porte à sa partie antérieure vient rencontrer le rugueux qui fait corps avec la tête de fusée.

La fusée Hotchkiss pèse 39^{gr}.

§ 233. **Vitesses initiales.** — On a trouvé que les vitesses initiales imprimées par la charge de 75^{gr} de poudre du Ripault étaient :

402 mètres avec l'obus de 421 grammes,
380 — de 458 — .

§ 234. **Résumé des essais. Conclusions.** — 1° L'obus de 421^{gr} en fonte ordinaire, chargé et muni d'une fusée percutante, traverse les tôles d'acier de 67^{mm} normalement, jusqu'à la distance de 2.000^{m} environ;

2° Dans le tir oblique, la pénétration a lieu jusqu'à la distance de 1.500^{m}, pour toutes les incidences comprises entre 0 et 30°;

3° Les obus en acier ne paraissent pas avoir de supériorité marquée sur les obus en fonte ordinaire;

4° La fusée Hotchkiss et la fusée Démarest fonctionnent convenablement; toutefois la dernière est moins susceptible de se briser dans le tir oblique, et son emploi est plus sûr.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CANON-REVOLVER DE 47mm, SYSTÈME HOTCHKISS.

§ 235. **Mécanisme.** — Ce canon-revolver ressemble beaucoup à celui de 37mm. Il se compose comme lui de cinq tubes en acier. La rotation est produite de la même manière ; et les pièces principales contenues dans la boîte de culasse sont semblables. L'effort à faire pour tourner la manivelle étant trop considérable pour que le chef de pièce puisse à la fois épauler, pointer et tourner, on a supprimé les deux pignons d'angle, et la manivelle est montée directement sur l'arbre de la roue hélicoïdale ; c'est un servant de

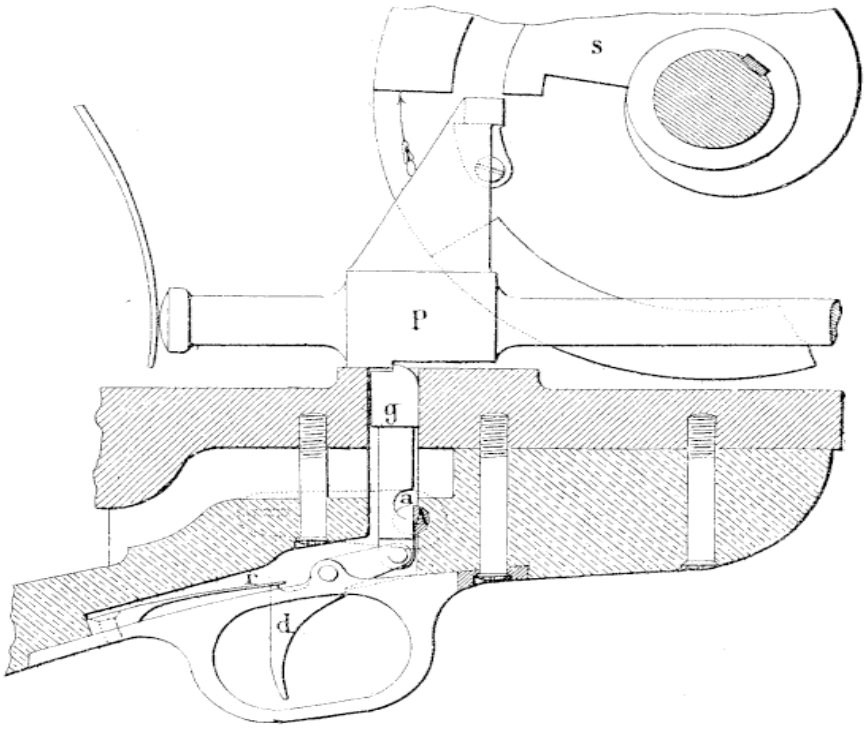


Fig. 41.

droite qui la fait tourner. Comme le feu doit être à la volonté du chef de pièce qui vise, il faut que le servant chargé de la manivelle ne puisse franchir la position de tir, mais soit au contraire arrêté avant. Dans ce but, la roue hélicoïdale porte sur le côté droit un taquet qui vient se présenter sous le bras de la crosse, et empêche la roue de tourner tant que le percuteur est en arrière (fig. 41).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A la partie inférieure de la boite de culasse, on a vissé une sorte de crosse de pistolet en bronze, contenant une détente *d* maintenue par un ressort *r*, ainsi qu'une gâchette *g*.

Le percuteur *p*, poussé en arrière par la came en spirale *s*, porte à sa partie inférieure une dent qui vient prendre à un moment donné dans une entaille de la gâchette. Tant que cette dernière est relevée, le percuteur ne peut aller de l'avant et la manivelle ne peut tourner. Quand le chef veut faire partir le coup, il presse la gâchette; le percuteur est lancé en avant;

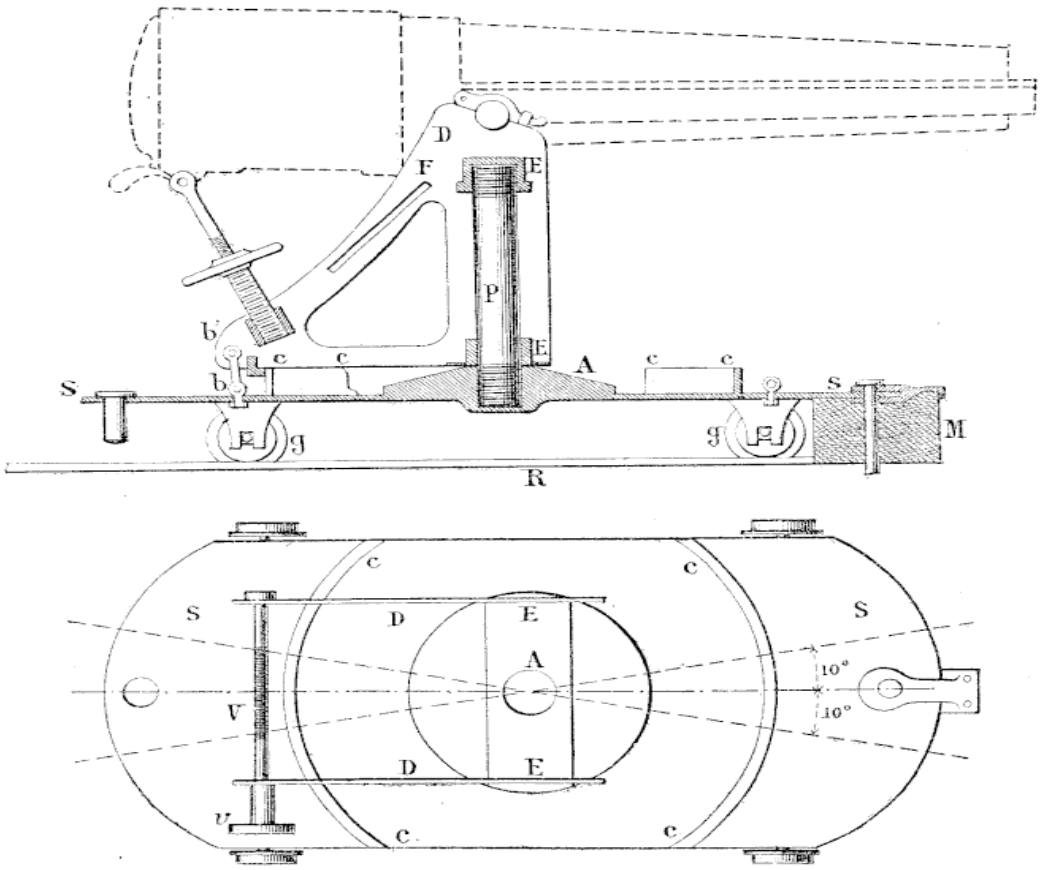


Fig. 42.

et le taquet de la roue ne rencontrant plus d'obstacle, il est possible d'imprimer un tour à la manivelle.

Pour exécuter un tir rapide, on supprime la gâchette au moyen d'une clef demi-circulaire A. Quand la partie pleine de la clef

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

appuie dans le vide a de la gâchette, celle-ci est abaissée ; dans le cas contraire, elle est libre.

Le canon-revolver de 47^{mm} peut se placer sur le plat-bord, et alors le chandelier vertical est maintenu dans une crapaudine en bronze fixée au pont.

§ 236. **Affût.** — A bord des embarcations on se sert d'un affût spécial, sans recul, représenté fig. 42. C'est un plateau en acier SS muni d'un fort pivot central p, fixé à une crapaudine en bronze A. Sur le plateau sont deux circulaires cc. Deux flasques D parallèles portent l'encastrement des tourillons, et sont réunies par trois entretoises E, E, F. La partie inférieure de la queue des flasques vient s'appuyer sur la circulaire. Le plateau repose sur quatre roulettes $g.g...$, pouvant se mouvoir sur des rails placés dans la longueur de l'embarcation. Une cheville ouvrière à chaque extrémité permet de fixer le plateau à l'AV ou à l'AR de l'embarcation.

Pour le pointage en hauteur, on se sert d'une vis double à écrou fixe, la vis extérieure étant commandée par un volant et la queue des flasques portant un écrou. Le pointage en direction est donné par une vis transversale fixée aux flasques, passant dans un écrou en bronze, que l'on peut fixer tantôt à l'avant tantôt à l'arrière. Ce pointage est restreint ; mais il est suffisant, les grandes corrections de pointage se faisant avec l'embarcation même.

CANON A TIR RAPIDE DE 47^{mm}, SYSTÈME HOTCHKISS.

§ 237. **Programme à remplir.** — Le canon-revolver de 47^{mm}, que nous venons d'étudier, pèse avec affût d'embarcation 950^{kg}. Ce poids est trop considérable. On a remplacé cette arme par un canon à tir rapide de 47^{mm} n'ayant qu'un canon et lançant un projectile plus lourd avec une plus grande force de pénétration. Il est destiné à être tiré à l'épaule par l'homme même qui en fait le pointage.

Les dispositions imposées au constructeur lui laissent toute latitude pour les détails de fabrication du canon, de l'affût et des munitions, sous la réserve d'observer les conditions générales énoncées ci-après :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Calibre du canon	47mm.
Longueur d'âme	35 calibres environ.
Poids du canon	200 à 250 kil.
Poids du chandelier avec crapaudine	125kg environ.
Poids du projectile (obus en fonte ordinaire ou en acier)	1kg,300 à 1kg,500.
Charge intérieure de l'obus de rupture	45 à 50 gr.
Vitesse initiale du projectile	580m environ.
Nombre de coups qui pourront être tirés en une minute : en pointant	12,
Nombre de coups qui pourront être tirés en une minute : sans pointer	25.
Amplitude de tir permise par le chandelier : horizontale	360°,
Amplitude de tir permise par le chandelier : verticale	— 12° à + 20°.

L'obus de rupture en acier devra percer effectivement, à la distance de 200m et sous l'incidence de 30°, une tôle d'acier de 18mm d'épaisseur.

La bouche à feu devra être munie d'une hausse graduée en millimètres.

Le choix du mécanisme de pointage est laissé au constructeur.

Les obus qui ne seront pas chargés seront bouchés au moyen d'un tampon d'exercice.

§ 238. **Canon.** — La bouche à feu (Pl. VII, fig. 1, 2, 3) se compose d'un tube en acier, dont la surface extérieure est constituée par trois parties : à l'AR se trouve une portion renforcée et filetée, sur laquelle est vissée la pièce de culasse ; elle est suivie d'un cylindre constituant le renfort ; puis d'une partie tronconique formant la volée.

La portion cylindrique est munie de cinq frettes placées à chaud ; celle du milieu porte les tourillons. Les deux frettes de l'AV sont tronconiques, les trois autres cylindriques.

§ 239. **Mécanisme de culasse. Coin.** — La pièce de culasse est cylindrique à l'AV et prismatique à l'AR. Elle porte la fermeture de culasse et la crosse de pointage ; elle est percée suivant son axe d'un trou qui forme le prolongement de l'âme, et qui est dégagé dans le haut, pour permettre l'introduction de la cartouche.

Les diverses parties du mécanisme sont représentées Pl. VII, fig. 4, 5, 6, 7.

Le coin, en section horizontale, est carré avec les angles abattus ; sa surface arrière est un peu inclinée en avant. Il peut se mouvoir verticalement entre deux glissières placées de chaque côté dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la culasse; et sa course est limitée par la vis b', qui sert en même temps à fixer la crosse.

Le mouvement vertical est obtenu au moyen d'une manivelle C, dont le bouton c se meut dans une cursière creusée sur la face droite du coin. La cursière est actionnée par une double poignée EE_1. Pour ouvrir on ramène E en arrière; pour fermer on pousse E_1 vers le haut.

§ 240. **Marteau.** — L'intérieur du coin est évidé et contient le mécanisme de mise de feu, consistant en un marteau F, dont la pointe vient frapper l'amorce de la cartouche, quand on presse la détente. Le marteau, monté sur un arbre G, porte un bras g en saillie; la double poignée EE_1 est munie d'une came e agissant sur le bras g;

Quand on amène en arrière la poignée E, la came e rabaisse le bras g; et le marteau est repoussé vers l'arrière, avant que le coin soit descendu; car la cursière, dans laquelle se meut le bouton de la manivelle, a une première partie concentrique à l'axe de cette manivelle, et, pendant cette période, le coin ne bouge pas. Sur l'arbre du marteau est un cran saisissant la gâchette H, et maintenant ainsi le marteau à l'armé. En appuyant sur la détente, on délivre le marteau, qui est actionné par le ressort i.

§ 241. **Extracteur.** — L'extracteur L est une pièce prismatique en acier, qui se meut dans un logement ménagé sur la joue gauche de la boîte de culasse et parallèlement à l'axe de la pièce; son extrémité est armée d'une griffe pour saisir le culot de la douille.

Du même côté que la griffe, l'extracteur porte un bouton, qui peut courir dans une rainure M pratiquée sur la joue gauche du coin. La rainure M est d'abord très peu inclinée par rapport à la perpendiculaire à l'axe, puis l'angle devient égal environ à 45° en arrière. Quand on ouvre la culasse, le bouton et l'extracteur ont un mouvement peu accentué en arrière servant à décoller la douille; puis, la rainure s'inclinant, le bouton est vivement retiré en arrière. A ce moment, l'ouverture supérieure N du coin est placée en face de l'âme, la douille peut sortir et se trouve projetée en dehors.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 242. **Crosse.** — La crosse est formée d'une partie en bronze fixée sur le côté gauche de la boîte de culasse au moyen de deux vis. La partie appuyée à l'épaule est en bois et porte un tube de caoutchouc pour amortir le recul. La partie inférieure est munie de deux ou trois poignées; le tireur choisit celle qui lui est le plus commode.

§ 243. **Fonctionnement du mécanisme.** — Supposons le canon venant de tirer.

1er *mouvement.* On ouvre la culasse en abaissant la poignée E. Le bouton de manivelle *c* se meut en arrière suivant la rainure D, dans la partie qui est concentrique à l'axe de la manivelle, et ne produit pas l'abaissement du coin. Pendant ce temps la came *e* agit sur le bras *g* de l'arbre et arme le marteau F. Aussitôt que le bouton de la manivelle passe dans la seconde portion de la rainure, le coin s'abaisse; et le bouton d'extracteur étant engagé dans la partie droite de la rainure M, un mouvement de recul de l'extracteur a lieu, jusqu'à ce que le coin soit descendu suffisamment, et que son ouverture cylindrique N coïncide avec la chambre, comme il a déjà été dit (§ 241). Le coin est arrêté au bas de course par la vis *b'*.

2e *mouvement.* Une cartouche est introduite dans la chambre, jusqu'à ce qu'elle soit arrêtée par la griffe de l'extracteur. On pousse en avant la manivelle E_1; le coin monte, l'ouverture N étant inclinée vers l'avant agit sur la cartouche et l'enfonce dans la chambre. Le coin est entièrement fermé et presse par sa face avant sur la cartouche. La manivelle *c* a dépassé en avant la position verticale. La came *e* est placée de façon à permettre au bras *g* de se relever et au marteau de faire feu.

3e *mouvement.* On presse sur la détente; sa branche supérieure agit sur la gâchette H, qui échappe au cran du marteau; celui-ci, poussé en avant sous l'action du grand ressort, frappe la capsule; et le coup part.

§ 244. **Affût.** — L'affût est dit à *crinoline* à cause du grand évasement qu'il présente à sa partie inférieure. Le canon repose par deux tourillons sur une fourche munie d'un pivot. Ce dernier est engagé dans une douille que porte l'affût. Celui-ci est composé de bandes de fer plat reliées en haut à la douille, et allant en s'éva-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sant beaucoup par le bas. A la partie inférieure, elles sont fixées par des boulons sur un cercle métallique boulonné au pont.

MITRAILLEUSE NORDENFELDT

§ 245. **Canons, cadre.** — La mitrailleuse Nordenfeldt a été adoptée par la marine anglaise et par plusieurs autres puissances. Aussi, la commission de Gâvre a-t-elle entrepris, en 1882, une série d'expériences sur le modèle choisi par l'Amirauté anglaise.

Les canons au nombre de quatre (Pl. VIII, fig. 1, 2, 3, 4) sont disposés dans un même plan horizontal; ils sont fixés à un cadre rectangulaire en fer, dont les côtés longitudinaux AA sont reliés par trois traverses B, C, N. Ce cadre porte les tourillons; les canons sont vissés dans la traverse médiane C.

§ 246. **Platine.** — La *platine* K, qui peut prendre un mouvement de va-et-vient dans le sens de l'axe, est placée entre la traverse médiane et celle de l'arrière. Elle porte en avant quatre pistons (26) en acier, qui lui sont vissés et se trouvent placés en face des canons. Un trou les traverse pour le passage du percuteur; sur le côté droit chacun d'eux porte un extracteur (28). Enfin, derrière chaque piston est un chien (24) (fig. 7), avec talon chanfriné, qui est pressé par un ressort à boudin (23).

Le mouvement de la platine est produit par une coulisse (35) (fig. 6), qui est fixée en dessous de la platine, et dans laquelle se meut un bouton (51) monté sur la *barre de commande* P.

La glissière est composée de deux parties : l'une a la forme d'un arc de cercle ayant pour centre l'axe (52) du levier de commande O, qui sert à mettre tout le mécanisme en mouvement. L'autre partie est rectiligne, et sert à communiquer à la platine un mouvement d'avance ou de recul, suivant que la barre de commande se meut à droite ou à gauche.

Sous la platine se trouve encore la *came* (37), qui pivote sur un axe (38), et qui met en mouvement les deux verrous (36); ceux-ci servent à fixer la platine au cadre pour assurer la fermeture. La came est actionnée par la barre de commande P.

§ 247. **Plaque de détente.** — La *plaque de détente* M se

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment sur un support fixé à la traverse postérieure du cadre; elle peut prendre un mouvement transversal, et elle porte quatre gâchettes (43); elle est poussée à gauche par un ressort puissant (48) attaché à la traverse postérieure; elle est actionnée par la barre de commande P.

§ 248. **Transporteur.** — Le *transporteur* L, destiné à opérer la distribution des cartouches, est en fonte; il est percé de quatre trous parallèles à l'axe des canons, pour laisser passer la douille extraite; il porte quatre auges (17) destinés à contenir les cartouches pendant le chargement. Le transporteur reçoit un mouvement de va-et-vient transversal, qui lui est communiqué par le levier (41) se mouvant librement sur l'axe (52) du levier de manœuvre, par l'intermédiaire du galet-guide (39) fixé sous la platine.

§ 249. **Fonctionnement.** — Voici comment, en manœuvrant le levier O, on obtient le fonctionnement de tout le mécanisme. Supposons que la décharge vient d'être opérée.

1° Le levier de manœuvre O est ramené en arrière. Le bouton (51) parcourt d'abord la partie circulaire de la glissière. Celle-ci reste donc immobile, et la platine ne bouge pas. Mais le doigt de détente (53) et le ressort (48) entraînent la plaque de détente de droite à gauche.

Dans la suite du mouvement, la barre de commande P agit sur la came (37); les verrous (36) se dégagent et la platine devient libre.

A ce moment le bouton (51) passe dans la portion rectiligne de la glissière, et la platine est chassée en arrière, entraînant avec elle les pistons (26). Les extracteurs (28) arrachent les étuis; les chiens, poussés par le même mouvement, bandent les ressorts à boudin.

Une fois les pistons dégagés, le transporteur se trouve amené à gauche par le levier (41), le long duquel glisse le galet-guide de la platine. Les étuis vides tombent à terre, pour être remplacés par les cartouches du magasin. En même temps le coin de détente agit contre le chanfrein (42), ce qui porte la plaque de détente à droite; les talons des chiens passent derrière les gâchettes (43) de la plaque de détente, qui est alors repoussée de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

droite à gauche par le ressort (48), lorsque le doigt de détente se retire.

A ce moment le levier O est arrivé à la limite extrême de sa course en arrière.

2° Le levier O est ramené en avant. Le bouton (51) de la barre de commande, agissant sur la partie rectiligne de la coulisse, imprime à la platine un mouvement en avant. Le galet-guide, poussant le levier (41), chasse le transporteur à droite et amène les cartouches en face des canons. La platine continue son mouvement en avant ; les pistons poussent les cartouches dans les canons. Les chiens sont retenus par les gâchettes de la plaque de détente.

Quand les cartouches sont tout à fait en place, la platine s'arrête. Alors le galet-guide agit sur la came des verrous, et ceux-ci pénètrent dans les logements du cadre ; la fermeture est complète.

La plaque de détente se trouve alors poussée vers la droite par la barre de détente ; chaque chien est lâché à son tour par la gâchette qui le retient, et il frappe le percuteur.

§ 250. **Appareil de sûreté.** — L'appareil de sûreté est formé d'un crochet qui retient le levier de manœuvre avant qu'il ne soit parvenu à l'extrémité de sa course. Il est donc impossible aux chiens de passer derrière les gâchettes, et les ressorts à boudin ne peuvent pas être bandés quand la platine marche en avant.

§ 251. **Affût.** — L'affût est formé d'un socle vissé sur la plate-forme, et d'un chandelier en fer portant les encastrements des tourillons et mobile autour d'un axe vertical.

Le pointage en hauteur se fait avec une vis double (59) mise en mouvement par un volant (58). L'écrou de la vis extérieure est porté par un genou monté sur le chandelier ; la vis intérieure se termine par une tête carrée, qui tourne autour d'un axe fixé au cadre de la mitrailleuse.

Le pointage en direction est produit au moyen d'une vis sans fin (66) portée par le chandelier et munie d'un volant à manette (65). Elle engrène avec une roue dentée (56) fixée au chapeau du support.

L'affût pèse 162 k^kg.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 252. **Dimensions des canons.** — Pendant toutes les expériences on s'est servi de canons ayant 50 calibres de longueur et présentant des rayures à inclinaison constante ; mais dans la dernière séance on a employé un canon de 55 calibres à rayures progressives.

Le canon court avait les dimensions suivantes :

Dimensions intérieures.

Logement du culot de la douille	Longueur		(millim.)	2,20
	Diamètre		id.	31,80
Chambre à poudre tronconique	Longueur		id.	92,25
	Diamètre arrière		id.	28,10
	Diamètre avant		id.	26,70
Raccordement tronconique	Longueur		id.	6,75
	Diamètre arrière		id.	26,70
	Diamètre avant		id.	25,53
Ame rayée	Longueur		id.	1179,00
	Diamètre entre cloisons		id.	25,53
Longueur totale de l'âme			id.	1270,00
id.			(calibre)	50,1
Rayures	Nombre			11
	Inclinaison initiale			5°,9
	Inclinaison finale			5°,9
	Largeur		(millim.)	5,50
	Profondeur aux angles	Flanc de forcement	id.	0,20
		Flanc opposé	id.	0,30
	Largeur des cloisons		id.	1,20

Dimensions extérieures.

Longueur totale (six pans coupés)			(millim.)	1280,20
Longueur des six pans			id.	158,00
Diamètre	à la culasse		id.	60,00
	près des six pans		id.	52,00
	à la bouche	Cercle inscrit aux six pans	id.	42,40
		Cercle circonscrit	id.	49,40
Poids de la mitrailleuse, sans affût			kilogrammes.	204

Le canon allongé dont on s'est servi à Gâvre, dans la dernière séance, ne diffère du canon qui vient d'être décrit que par les dimensions suivantes :

Longueur de l'âme rayée		(millim.)	1303,80
Longueur totale de l'âme	en millimètres		1402,80
	en calibres		55
Rayures progressives	inclinaison initiale		2°
	inclinaison finale		6°

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 253. **Munitions.** — On s'est servi pour les tirs de rapidité de balles en plomb, et pour ceux de perforation de balles en acier de différents modèles (fig. 43).

La balle en plomb porte à l'arrière deux cannelures ; elle est

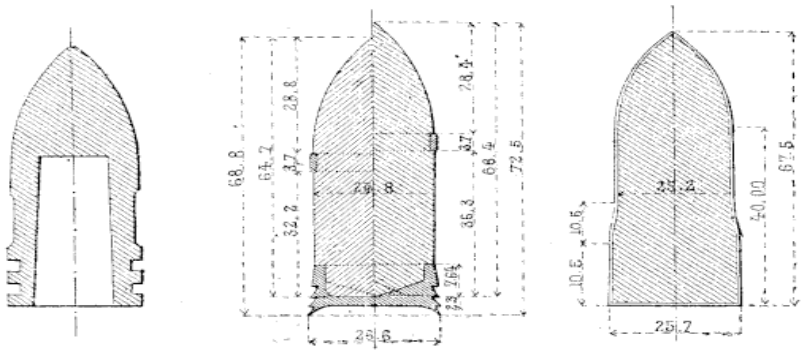


Fig. 43.

évidée intérieurement, et le vide est rempli par un tampon en bois.

Les balles d'acier sont de deux modèles. Dans le modèle *d*, la balle est recouverte complètement d'une couche de cuivre rouge déposée par galvanoplastie. Dans le modèle *b*, le projectile porte à l'avant une ceinture en cuivre ; et le culot est garni également d'une ceinture de même métal disposée de manière à former une concavité qui s'épanouit sous la pression du gaz. Ce modèle comprend deux espèces de balles différant seulement par leurs dimensions. L'acier de ces balles est très dur.

Tous les projectiles, soit en plomb, soit en acier, sont sertis dans une douille en laiton emboutie, terminée à l'arrière par un bourrelet (Pl. VIII, fig. 11).

La balle en plomb est séparée de la poudre par deux rondelles de carton comprenant entre elles de la cire vierge. Celle d'acier est placée directement sur la poudre, après avoir été trempée dans la cire vierge.

Les cartouches sont rangées au nombre de 40 dans des magasins à fond mobile et à 4 compartiments.

§ 254. **Rapidité du tir.** — Les organes de pointage permettent de suivre le but, quelle que soit la rapidité de ses déplacements. Il faut 4 à 5^{sec} pour faire varier le pointage de 90°.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La vitesse du tir est limitée surtout par le temps nécessaire au remplacement des magasins. On peut admettre 20^{sec} pour 40 coups, y compris le temps de remplacer le magasin. Le remplissage du magasin exigeant 1^{min} 1/2 environ, si l'on dispose pour une mitrailleuse de 6 à 7 magasins et de 8 servants, dont 5 sont employés au service des magasins, on peut marcher d'une façon continue à l'allure de 120 coups par 1 minute.

§ 255. **Vitesses initiales.** — Le tableau suivant donne les vitesses initiales observées avec les différents modèles de balles :

MODÈLES DE BALLES	POIDS de la balle	VITESSE INITIALE			
		CANON ORDINAIRE		CANON ALLONGÉ	
		Charge 40^{gr},5	Charge 45^{gr},0	Charge 44^{gr},5	Charge 45^{gr},4
Balle de plomb.	206^{gr},0	450^{m},5	»	»	»
Balle d'acier *b*	203 ,5	»	480^{m},9	466^{m},8	494^{m},9
Balle d'acier *d*	219 ,7	»	457 ,4	»	475 ,6

La balle de plomb a moins de vitesse initiale que celle d'acier, et elle perd sa vitesse beaucoup plus rapidement (à 130^{m}, la balle de plomb perd 70^{m},7 ; celle d'acier ne perd que 60^{m}). La justesse à 155^{m} est quatre fois plus faible avec la balle de plomb qu'avec celle d'acier (moyenne des écarts moyens à 155^{m} pour la balle d'acier 0^{m},070 ; et pour la balle de plomb 0^{m},304).

En présence des résultats obtenus avec les balles de plomb, on a renoncé à les employer pour les essais balistiques et tous les tirs ont été faits avec des balles d'acier.

§ 256. **Portées, dérivations, écarts moyens.** — Les tirs balistiques ont été faits par beau temps.

Poids du mètre cube d'air		1^{kg},253
Composante du vent. . . .	parallèle au plan de tir	1^{m},7 AR
	normale.	2^{m},9 D
Vitesse initiale.		460^{m}

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ANGLE de tir	NOMBRE de coups tirés	PORTÉE observée	DÉRIVATION observée	PORTÉE corrigée	DÉRIVATION corrigée	ÉCART MOYEN en portée	ÉCART MOYEN en direction
		mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
1° 25′	20	706,4	0,10 G	710	1,93 D	6,2	0,33
3° 17′	16	1.254,9	0,23 D	1.262,5	5,45 D	7,3	0,61
4° 19′	16	1.480,1	1,26 G	1.490,0	5,12 D	5,4	0,58
5° 12′	15	1.699,1	2,10 D	1.710.0	10,22 D	11,4	0,77

La mitrailleuse est, comme on le voit par ces chiffres, une arme très juste; ou plutôt le canon Nordenfeldt possède une grande justesse, considéré indépendamment du mécanisme total.

Les essais ont été faits avec des panneaux, pour étudier l'arme comme mitrailleuse dans le tir continu et dans le tir précipité. On a constaté dans le tir lent une grande justesse, qui est moindre dans le tir précipité, quoiqu'elle soit encore satisfaisante. Dans le tir rapide, on observe que, sur un panneau vertical, le rectangle comprenant les quatre coups d'une même salve a toujours une hauteur plus grande que sa largeur. Ce fait est dû aux vibrations éprouvées par tout le système. Le premier coup détermine un certain angle de relèvement : et la vibration se continuant, les balles successives sont lancées suivant des angles de plus en plus grands.

§ 257. **Tirs de perforation**. — Les essais de perforation faits avec des balles d'acier ont donné les résultats suivants :

1° Dans le tir normal à 150^{m} avec une charge de poudre de 40^{gr},5, on traverse 25^{mm} de fer.
— 400^{m} — — 12^{mm} acier.
Sous l'incidence de 30° à 150^{m} — — 20^{mm} acier.
— 400^{m} — — 12^{mm} acier.

La mitrailleuse allongée peut, avec certains modèles de balles, traverser sous l'incidence de 30° les tôles de fer de 25^{mm}.

2° En tirant sur une tôle d'acier de 6 ou 12^{mm}, protégée par 1, 2, 3 ou 4 tôles de 2^{mm},5, on observe que, même en tir normal, la balle perd de sa stabilité, et se renverse en traversant des tôles de peu d'épaisseur ; dans le tir oblique ce renversement est fort accentué. Il en résulte que, si au lieu d'une plaque

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

unique, on emploie plusieurs plaques espacées, les épaisseurs d'acier traversées par la balle sont beaucoup diminuées.

3° Des essais ont été faits sur une cible (fig. 44), représentant un torpilleur de première ou de deuxième classe (type Normand) attaqué par le pont. La cible se compose d'une longue caisse

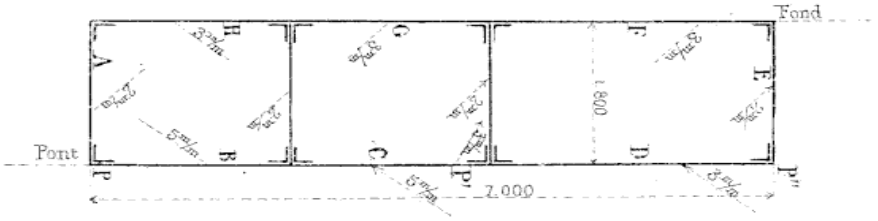


Fig. 44.

rectangulaire en tôle d'acier, séparée par des cloisons transversales en trois compartiments; la tôle figurant le pont a 5mm d'épaisseur de P en P', et 3mm de P' en P''; elle se présente verticalement au tir. La tôle figurant le fond a 3mm; les cloisons ont 2mm. La cible étant à 54m de la mitrailleuse, on remarque que la plaque de 5mm est traversée jusque sous l'incidence de 75°, et celle de 3mm jusqu'à 80°. Dans le premier cas, la balle conserve assez de vitesse pour traverser deux cloisons de 2mm; dans le second cas, elle n'en traverse qu'une.

4° Une cible a été disposée pour représenter le torpilleur attaqué d'enfilade (fig. 45). Elle se compose d'une caisse triangulaire

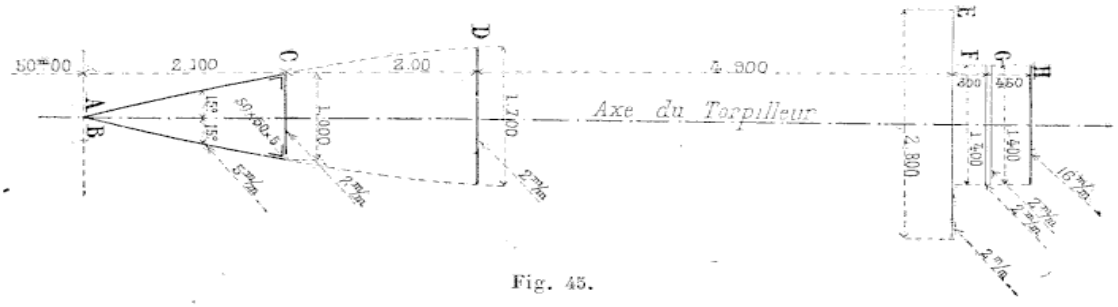


Fig. 45.

représentant le compartiment étanche de l'avant; les tôles A et B ont 5mm d'épaisseur; les cloisons transversales C,D,E,F,G ont 2mm; la tôle H de 16mm figure une plaque de tôle de la chaudière.

On a tiré 4 balles à 50m, sous l'angle de 75°, à la charge de 40gr,5.

La première balle passa par un trou déjà fait dans la tôle d'avant, traversa les cinq cloisons de 2mm, et se brisa sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

celle de 16mm. Les trois autres balles atteignant des parties saines ricochèrent sur la tôle de 5mm, en y produisant des sillons avec fentes au fond.

La cible étant placée à 140m, sous l'incidence de 72°, on a tiré deux balles avec la charge de 45gr,4. Elles ont traversé la cloison de 5mm; et l'une d'elles a traversé la première cloison transversale.

Sous l'incidence de 78°, dans les mêmes conditions de tir, les balles ont ricoché sur la tôle de 5mm, qui n'a pas été fendue.

On peut conclure de ces expériences que le fonctionnement de la mitrailleuse est remarquable, sa justesse est fort satisfaisante; mais sa puissance de perforation est très faible. Elle ne peut donc lutter seule contre les torpilleurs.

CANON NORDENFELDT A TIR RAPIDE DE 47mm

§ 258. **Canon**. — Le canon comporte un tube et une jaquette de culasse en acier (Pl. IX).

Le tube est composé d'une partie tronconique constituant la volée, et d'une portion cylindrique engagée sous la jaquette. Celle-ci porte les tourillons et à l'arrière le mécanisme de la fermeture de culasse.

L'âme du canon, représentée en détail fig. 13 et 14, comprend :

1° La chambre à poudre tronconique, avec évasement à l'arrière pour recevoir le culot de la douille ;

2° Le raccordement de la chambre à poudre et du logement du projectile : le profil en est formé par deux arcs de cercle tangents l'un à l'autre ;

3° Le logement du projectile, légèrement tronconique ;

4° La portion rayée de l'âme, séparée du logement du projectile par un raccord tronconique où commencent les rayures.

Les rayures sont au nombre de 15; elles tournent de droite à gauche avec un pas progressif.

Inclinaison initiale		2° 20′
Id. finale		7° 10′
Largeur des cloisons	Moyenne	5mm,50
	Maxima	6 ,25
	Minima	5 ,30

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Volume total de l'âme.	$3^{dc3},558$
Rapport entre le volume occupé par le chargement et le volume total de l'âme.	0,204

§ 259. **Mécanisme de culasse.** — La fermeture se fait au moyen d'un bloc qui s'applique contre la tranche arrière du canon, et d'un coin qui maintient le bloc, en prenant appui sur l'arrière d'une mortaise verticale où le mécanisme est logé.

Pour opérer l'ouverture, on commence par abaisser le coin qui glisse verticalement ; puis l'ensemble du bloc et du coin, solidaires l'un de l'autre, tourne autour d'un arbre horizontal perpendiculaire à l'axe du canon, de manière à se rabattre vers l'arrière en démasquant la chambre.

§ 260. **Levier et came directrice.** — Ce double mouvement est produit par un levier L (Pl. IX, fig. 1 et 2) placé à droite du canon, et commandant un arbre horizontal H. Ce dernier est chargé en même temps d'armer le percuteur, pendant l'ouverture de la culasse, et de mettre en action l'appareil de percussion après que la culasse vient d'être fermée.

Le levier L porte une manivelle C calée à angle droit, servant à faciliter le mouvement de rotation.

A l'extérieur de la culasse se trouvent encore deux pièces formant corps avec le même levier : une came D destinée à communiquer le mouvement au levier de l'extracteur E ; et une sorte de tenon F, qui, dans la position de fermeture, vient buter contre un arrêt G limitant la course du levier. Cet arrêt fait partie d'un levier mobile autour d'un axe *m*, qui, au moyen d'un bouton, peut être fixé dans les trois positions différentes I, I′, I″.

Quand le bouton est en I′, le mouvement du levier F est limité de manière que la mise de feu ne s'opère pas automatiquement. S'il se trouve en I, la mise de feu est automatique. Enfin la position I″ correspond au démontage du système.

Au milieu de l'arbre de commande H est calée la *came directrice* en acier (fig. 3). A sa surface est pratiquée une rainure comprenant deux parties : la première est circulaire et concentrique à l'arbre ; la seconde portion est rectiligne et fait un angle obtus avec la direction de la précédente.

Dans cette rainure s'engage le téton A du coin, qui doit donner

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

successivement à cette pièce un mouvement de rotation et un glissement de bas en haut.

La came porte une saillie, qui agit sur la détente pour provoquer la mise de feu.

§ 261. **Bloc et coin**. — Le bloc de culasse (Pl. IX, fig. 4, 5) présente en avant une face plane *ef*, qui sert d'appui au culot de la gargousse quand la culasse est fermée ; la face arrière est taillée en queue d'aronde, et porte en bas un appendice *o* auquel se fixe le ressort du percuteur. Un évidement pratiqué au centre de la pièce sert de logement au percuteur et à la détente. La face supérieure du bloc est un cylindre concentrique à l'arbre de commande H ; en avant se trouve une saillie Q, qui, dans le mouvement de rotation donné au bloc pour ouvrir la culasse, prend appui sur la mortaise et limite ainsi l'abaissement.

Le coin (fig. 6) est placé à l'arrière du bloc. Sa face antérieure est échancrée, pour recevoir la queue d'aronde de ce dernier. La partie supérieure est cylindrique. La face arrière présente deux gradins, dont les faces verticales viennent, pendant la position de fermeture, s'appuyer sur des épaulements de la boîte de culasse.

En bas est le téton A destiné à s'engager dans la rainure de la came directrice.

Le coin est évidé pour loger le percuteur et la détente. Dans l'évidement se trouve un plan incliné *xy*, contre lequel s'appuient les oreilles du percuteur, de sorte que l'abaissement du coin ramène le percuteur en arrière. En outre le gradin B forme butoir, et vient, pendant ce mouvement de descente, heurter une saillie S correspondante de la détente, de manière à faire tourner celle-ci.

§ 262. **Percuteur**. — Le percuteur P (Pl. IX, fig. 7) placé dans l'axe du canon est logé dans le bloc. Il se termine à l'avant par une pointe émoussée, et à l'arrière par deux oreilles prenant appui sur le plan incliné *xy* du coin. Il porte un ergot *g*, sur lequel agit le cran de la détente. Un ressort R pousse constamment le percuteur en avant.

§ 263. **Détente**. — La détente Z (Pl. IX, fig. 7), en acier, est mobile autour d'un axe *d* et sollicitée à tourner dans le sens de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

flèche par un petit ressort *i* pressant un épaulement. La détente porte une saillie S, sur laquelle le coin, pendant sa descente, vient agir de manière à armer le percuteur.

Une seconde saillie *t* est placée à la partie inférieure ; elle est poussée par la came directrice pendant les derniers instants de rotation qui suivent la fermeture de la culasse, et elle dégage le percuteur, qui obéit alors au ressort R, comme l'indique la fig. 9.

§ 264. **Extracteur**. — L'extracteur (Pl. IX, fig. 8) est formé d'un cylindre dont l'axe est horizontal et perpendiculaire au canon, et qui porte deux bras *u*, *u'* terminés par des griffes s'introduisant sous le rebord saillant du culot de la douille.

L'arbre de l'extracteur se prolonge en dehors sur le côté droit du canon, et porte un levier E (fig. 1) qui, dans le mouvement d'ouverture de la culasse, est soulevé par la came D calée sur le levier de manœuvre et fait pivoter l'extracteur.

§ 265. **Fonctionnement**. — Supposons que le coup vienne de partir (Pl. IX, fig. 9). Le levier de manœuvre se trouve alors rabattu sur l'avant. Si on le ramène en arrière, voici les différentes phases qui se produisent :

1° La came directrice est entraînée ; le téton du coin A est d'abord engagé dans la partie circulaire de la rainure, et le mécanisme de fermeture reste immobile.

2° La came continuant son mouvement, le téton A s'engage dans la partie rectiligne de la rainure. Le coin descend verticalement, jusqu'au moment où la surface cylindrique qui le termine en haut se trouve dans le prolongement du bloc, comme on le voit figure 10. Les gradins taillés à l'arrière du coin sont alors dégagés des épaulements de la boîte de culasse ; l'ensemble du coin et du bloc peut donc tourner librement autour de l'axe H pour se rabattre sur l'arrière.

Dans la descente du coin, son plan incliné pressant les oreilles du percuteur entraîne celui-ci en arrière en bandant le ressort R. Vers la fin de la descente, le butoir B du coin heurte la saillie S de la détente, qui se met à tourner ; son extrémité avant se lève et le cran de l'armé s'engage sous l'ergot du percuteur, comme l'indique la figure 10.

3° Le téton A du coin est arrivé au fond de la rainure ; la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

came continuant à tourner entraine avec elle dans sa rotation le coin et le bloc. Le mouvement s'arrête quand le cran d'arrêt Q du bloc vient buter contre la partie inférieure de la boite de culasse. L'entrée de la chambre est alors dégagée.

Pendant la dernière partie de ce mouvement, la came D du levier de manœuvre rencontre la tige E du levier d'extracteur, qu'elle ramène en arrière. La douille est arrachée et projetée vers la culasse ; une pièce en bronze placée dans le prolongement de la chambre la dévie et la fait tomber à droite.

4° On introduit à la main une nouvelle cartouche.

5° Le levier est ramené vers l'avant.

Le coin et le bloc tournent de l'arrière vers l'avant. La face antérieure pousse la cartouche à sa place ; elle rencontre ensuite les griffes de l'extracteur, qu'elle fait rentrer dans leur logement.

6° Le bloc étant en place et la came continuant à tourner, le téton A passe dans la partie rectiligne de la rainure ; le coin est forcé de monter, jusqu'à ce qu'il bute contre les épaulements de la boite de culasse.

7° Le téton A passe dans la portion circulaire de la rainure. Le coin et le bloc restent immobiles ; mais la saillie arrière de la came directrice presse la détente, qui dégage le percuteur. Le coup part.

Quand le bouton I (fig. 1) est placé en I', la détente n'est pas mise en mouvement, comme nous l'avons dit précédemment, et la rotation du levier de manœuvre n'entraîne pas le fonctionnement du percuteur. Pour faire partir le coup, il suffit alors d'appuyer avec le doigt sur la détente.

§ 266. **Appareil de pointage.** — Une hausse en forme de T se meut dans une coulisse verticale au moyen d'une vis à bouton molleté. La traverse est munie d'un cran de mire que l'on déplace horizontalement avec un bouton molleté.

Le guidon est porté par une frette embrassant la volée du canon.

Longueur de la ligne de mire.	1m,015
Distance horizontale de la ligne de mire à l'axe du canon. . . .	180mm,0
Id. verticale de l'œilleton à l'axe du canon.	142mm,7
Id. id. du guidon. » »	140mm,6

§ 267. **Affût.** — Les tourillons (Pl. IX, fig. 20 et 21) sont portés par un chandelier à fourche, dont l'axe vertical peut tour-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ner dans un manchon placé sur un support en acier coulé, qui est solidement boulonné à la plate-forme. Une roue dentée fait corps avec le manchon. Sur le côté gauche du chandelier est fixée une pièce portant des colliers ; dans ceux-ci peut tourner une vis sans fin, qui engrène avec la roue dentée, et qui est mise en mouvement par un volant-manivelle ; au moyen de ce dernier, le pointeur donne à la pièce ses déplacements latéraux.

Le pointage en hauteur s'opère à l'aide d'un second volant faisant corps avec un manchon, qui embrasse un axe horizontal vissé dans le côté gauche de la boîte de culasse. Le manchon peut tourner librement autour de cet axe ; et il porte une roue dentée en prise avec un engrenage conique qui forme la tête de la vis de pointage. Cette vis traverse un écrou relié au chandelier par une charnière, sur laquelle il oscille en obéissant aux mouvements de pointage.

La vis de pointage est creuse et sa butée s'exerce sur une tige qui la traverse sur toute sa longueur ; la tige porte un écrou en bas, et à la partie supérieure un collier dans lequel s'emmanche l'axe horizontal du volant.

§ 268. **Poids du système** :

Canon avec sa culasse et son levier de fermeture.	273[kg]
Support, pivot et système de pointage.	125
Socle en fonte.	185

§ 269. **Munitions. Projectiles** (Pl. IX, fig. 15, 16, 17). — Les projectiles employés sont : des obus ordinaires, des obus en acier, des boulets en acier.

Il y a trois espèces de boulets pesant 1[kg],361, 1[kg],497 et 1[kg],550 ; ils ne diffèrent que par la longueur.

Il existe également trois sortes d'obus en fonte ordinaire et trois espèces d'obus en acier, ne différant que par la longueur et pouvant être lestés au même poids que les boulets en acier.

Les obus ordinaires et les obus en acier sont fermés à l'arrière par un bouchon fileté auquel est adaptée une fusée. La chambre ne s'étend que peu au delà de la naissance de l'ogive.

Tous les projectiles sont recouverts d'une couche épaisse de cuivre, déposée par la galvanoplastie, et tournée ensuite de manière à laisser à l'arrière une couche forçante de 20[mm] de largeur,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avec un diamètre un peu supérieur à celui de l'âme entre les rayures.

La ceinture porte quatre rainures circulaires. La distance de la ceinture au culot du boulet varie avec la longueur des projectiles. A $42^{mm},8$ du culot, on a ménagé pendant le tournage un petit cordon saillant, qui doit se trouver à l'avant de la douille, indiquant ainsi la position qu'il faut donner au projectile dans cette dernière. C'est sur ce cordon que l'on plie les lèvres de la douille pendant le sertissage, de manière à maintenir le projectile en place.

Les obus renferment une charge d'éclatement de 50^{gr}, quand ils sont chargés, et leur poids est ainsi égal à celui des boulets en acier. Le diamètre de la partie cylindrique est à peine inférieur à 47^{mm}, en tenant compte de la couche de cuivre. Pour tous les projectiles, l'ogive est tangente au cylindre.

Tableau des données principales des projectiles.

NATURE DES PROJECTILES		OBUS ORDINAIRES			OBUS EN ACIER			BOULETS EN ACIER		
Poids du projectile complet.	(kilog.)	1,361	1,497	1,558	1,361	1,497	1,558	1,361	1,497	1,558
Longueur de la partie cylindrique.	(millim.)	91,5	94,5	108,2	80,0	89,9	96,8	66,5	74,2	81,2
Hauteur de l'ogive j.	id.	70,1	70,1	70,1	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0
Rayon de l'axe ogival J.	id.	117,5	117,5	117,5	105,75	105,75	105,75	105,75	105,75	105,75
Longueur totale L, non compris la saillie du bouchon.	id.	161,6	164,6	178,3	146,0	155,9	162,5	132,5	140,2	147,2
Diamètre de la partie cylindrique a.	id.	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Rapport $\frac{L}{a}$.		3,438	3,502	3,794	3,106	3,317	3,464	2,819	2,983	3,132
Id. $\frac{j}{a}$.		1,492	1,492	1,492	1,404	1,404	1,404	1,404	1,404	1,404
Id. $\frac{J}{a}$.		2,500	2,500	2,500	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250	2,250
Angle ogival.		36°38′	36°38′	36°38′	38°37′	38°37′	38°37′	38°37′	38°37′	38°37
Rapport du poids du boulet à celui de la sphère pleine de 47^{mm} de diamètre.		3,485	3,829	4,061	3,481	3,829	4,061	3,481	3,829	4,061

§ 270. **Douille.** — La douille (Pl. IX, fig. 18) est en laiton, fabriquée par emboutissage et d'un seul morceau, sauf l'amorce. Son épaisseur est assez grande pour qu'elle ne soit pas déformée sensiblement par le tir et puisse servir plusieurs fois.

Les douilles ont exactement la forme de la chambre ; elles comprennent à l'arrière une partie tronconique, se raccordant à l'avant avec une portion presque cylindrique présentant un plus petit diamètre. Une partie de la capacité de la douille est remplie par le culot du projectile.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 271. **Amorce.** — L'amorce (Pl. IX, fig. 19) consiste en un tube de laiton L ayant 10^{mm} de diamètre et 88^{mm} de longueur. A l'avant, on met une floche de coton-poudre recouverte de cire et formant tampon. A l'arrière est un petit tube en laiton B, ouvert à sa partie antérieure et rempli de poudre de chasse ; sa tête est percée de trous formant évents, par lesquels le feu se communique à la poudre de chasse par l'amorce proprement dite. Celle-ci, placée à l'arrière du tube L, est une petite capsule en laiton remplie de fulminate de mercure, qui se complète par un couvre-amorce, sur lequel frappe le percuteur.

Cet appareil est logé dans le culot de la douille. L'extrémité du tube L débouche à peu près au milieu de la cartouche ; l'inflammation se fait ainsi par le centre de la charge.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3E PIE. — CHAPITRE V

DES AFFUTS

§ 272. **Définitions**. — Les types d'affûts pour canons ordinaires, et, par suite, en dehors des dispositions déjà décrites § 244 et § 267, sont très nombreux. Beaucoup d'appareils employés autrefois sont abandonnés aujourd'hui. Il est inutile de passer en revue tout ce qui a été imaginé à ce sujet. Nous exposerons seulement quelques-unes des combinaisons les plus nouvelles, laissant de côté tous les appareils qui n'offrent qu'un intérêt historique.

Les perfectionnements apportés dans la construction des bouches à feu ont eu, comme conséquence immédiate, d'importantes modifications dans les affûts. Il a fallu, en effet, imaginer des appareils assez puissants pour manœuvrer sans difficulté les pièces énormes en usage aujourd'hui. On a dû en outre prévoir des effets de recul contre lesquels les anciens procédés étaient tout à fait impuissants. Le fer a commencé par remplacer le bois adopté primitivement dans la construction des affûts ; et, après de nombreux essais sur le mode de transmission de mouvement le plus favorable, on s'est adressé à l'hydraulique pour mouvoir les grosses pièces de la Marine.

L'affût d'une bouche à feu marine se compose de deux parties : l'*affût proprement dit*, et le *châssis*.

L'affût est formé de deux flasques verticales réunies par deux entretoises. Les tourillons du canon reposent dans des encoches ménagées sur les flasques.

Les *sous-bandes* sont des pièces logées dans ces encoches, et sur lesquelles reposent les tourillons.

Les *sus-bandes* servent à maintenir les tourillons dans leurs encoches.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le châssis est destiné à supporter l'affût et à le guider. Il est formé de deux poutrelles longitudinales réunies par deux entretoises en tôle et cornières. Il est susceptible de tourner dans un plan horizontal, et permet ainsi d'amener la ligne de tir dans le plan vertical contenant le but. Pour cela, il pivote autour d'un axe fixe, et il repose sur des circulaires vissées au pont.

Un affût, quel que soit son mode de construction, comporte un certain nombre d'engins destinés aux manœuvres suivantes :

1° Pointer en hauteur;
2° Pointer en direction;
3° Mettre en batterie ou au recul;
4° Limiter et modérer le recul.

APPAREILS DE POINTAGE EN HAUTEUR

§ 273. **Sole mobile à vis double.** — Les appareils de pointage en hauteur servent à donner à la pièce l'inclinaison nécessaire dans le plan vertical passant par son axe et par le but. Plusieurs dispositions sont employées à cet usage.

Dans le système à sole mobile et à vis double, la culasse du canon repose sur une *vis de pointage*, qui, sous l'action d'une manivelle, monte ou descend dans un écrou fixe; ce dernier est logé dans une sole en bois, qu'on peut placer sur l'affût ou enlever à volonté.

La vis de pointage est formée de deux vis rentrant l'une dans l'autre et filetées dans le même sens. La tête de la vis intérieure porte une manivelle; en bas elle est munie d'un ergot destiné à entraîner la vis extérieure quand la première est en haut de sa course.

La vis extérieure est engagée dans un écrou en bronze attaché à la sole mobile par des rivets. Ceux-ci sont prolongés par des tenons servant à fixer la sole sur l'entretoise. La course descendante de la vis extérieure est limitée par une rondelle d'arrêt disposée sur sa face supérieure.

§ 274. **Vis double à écrou fixe.** — Ce dispositif comprend *le support de pointage*, articulé à ses extrémités avant avec les flasques de l'affût, et embrassant entre ses extrémités arrière un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

galet sur lequel reposent la culasse et la tête de la vis intérieure de pointage. Cette vis est filetée à gauche, et se loge dans une seconde vis extérieure taraudée qui lui sert d'écrou. La deuxième vis est filetée à droite, et a pour écrou le fond taraudé d'une boîte en bronze fixée à l'entretoise arrière. Cette boîte renferme une roue dentée, qui engrène avec une vis sans fin commandée par deux volants de pointage. La roue dentée se trouve percée d'un trou cylindrique par lequel passe la vis extérieure, et porte une clavette qui coulisse dans une rainure longitudinale de cette vis.

La rotation des volants, transmise par la vis sans fin à la roue dentée, force la vis extérieure à monter ou à descendre; la vis intérieure, qui a un pas égal et de sens contraire, et que les branches du support empêchent de tourner, se dévisse ou se visse de la même quantité.

§ 275. **Vis simple à écrou tournant.** — Dans ce système, la culasse repose directement sur une vis. Une roue dentée, qui lui sert d'écrou, tourne dans une boîte en bronze. Le fond de la boîte est percé d'un trou cylindrique non taraudé; une clavette en acier fixée au fond coulisse dans une rainure longitudinale de la vis et l'empêche de tourner. Le mouvement est communiqué à la roue par une vis sans fin et un volant de pointage.

§ 276. **Chaîne Galle.** — Pour les calibres de 19, 24 et 27^{cm}, la transmission de mouvement s'opère au moyen d'une chaîne Galle passant sous le renfort, et engrenant de chaque côté avec un pignon en acier logé dans les parois des flasques. Le pignon de chaque flasque est commandé par une roue et une vis sans fin avec volant de pointage. La vis sans fin tourne sur deux tourillons reposant sur des coussinets. Le coussinet extérieur porte deux cloisons verticales qui forment le canal-guide de la chaîne. Des arrêts empêchent la chaîne de sortir des flasques en cas de dévirage accidentel.

Les mouvements de cette chaîne sont irréguliers, et le pointage ne s'opère souvent que par soubresauts. Au départ du coup elle se dévire quelquefois; et le canon, abandonné à lui-même, vient heurter la sole ou le sabord.

§ 277. **Arc denté.** — Pour remédier aux inconvénients de la chaîne Galle, on a adapté aux tourillons un arc denté qui leur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est concentrique, et dont le plan est parallèle au plan de tir. Un pignon engrène avec l'arc denté, et est actionné par un volant au moyen d'une série d'engrenages.

Un frein fixé sur la couronne du volant sert à maintenir invariable l'angle de pointage obtenu.

§ 278. **Pointage hydraulique.** — Avec certains canons (27cm, 34cm), on a recours à l'hydraulique pour produire le pointage en hauteur. La culasse repose sur un bras de pointage qui est manœuvré au moyen d'une presse hydraulique.

A bord de quelques bâtiments à grosse artillerie, on rend le châssis mobile autour d'un axe horizontal situé à l'arrière ; et on le soutient à l'avant par un *bras de pointage* actionné par une presse hydraulique. C'est le moyen d'utiliser, avec une hauteur de sabord limitée, les plus grands angles de pointage que permet le châssis.

Nous reviendrons sur ce sujet dans la partie de l'ouvrage consacrée aux hydrauliques de manœuvre des canons.

APPAREILS DE POINTAGE EN DIRECTION

§ 279. **Pivot, cheville ouvrière.** — *Pointer en direction*, c'est amener la bouche à feu dans une position telle, que le plan vertical passant par son axe et corrigé de la dérive (§ 32) coïncide avec le plan vertical contenant le but.

Pour obtenir ce résultat, le châssis peut tourner autour d'un pivot en fer vertical situé dans son plan médian, soit à l'avant, soit au milieu. Cet axe est solidement fixé au pont.

Le pivot prend le nom de *cheville ouvrière*, quand il est en dehors du châssis et logé dans la muraille du bâtiment. Il est alors relié au châssis par une *lunette* (affûts de batterie à châssis pour canons de 19, 24 et 27cm).

Le châssis porte, par l'intermédiaire de galets, sur une ou deux circulaires fixées au pont. Pour donner au châssis un mouvement de rotation, on agit tantôt directement sur lui au moyen de palans ou d'appareils mécaniques, tantôt sur le galet; quelquefois les deux systèmes sont combinés.

Les dispositions mécaniques consistent généralement en une circulaire dentée concentrique à celle qui porte les galets, et dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

laquelle vient engrener un pignon conique ; celui-ci est mis en mouvement par une série d'engrenages commandés au moyen d'une manivelle que manœuvrent les servants.

Quelquefois, au lieu d'une circulaire horizontale dentée, on emploie une couronne dentée extérieure, avec laquelle engrène un pignon vertical commandé par la manivelle de manœuvre.

§ 280. **Exemple. Affût de batterie pour canon de 27cm.** — Le châssis roule sur deux circulaires ; mais celle de l'arrière (fig. 46) se compose de deux parties concentriques B, C : l'une lisse et l'autre dentée. Le galet G comporte également une roue lisse et une roue dentée. Le profil de la circulaire est disposé de telle sorte que la portion lisse se trouve à un niveau plus élevé que la partie dentée. Par suite, tout le poids de l'affût porte sur la couronne lisse ; et l'autre, qui sert seulement pour produire la marche du châssis, n'est pas exposée à l'écrasement.

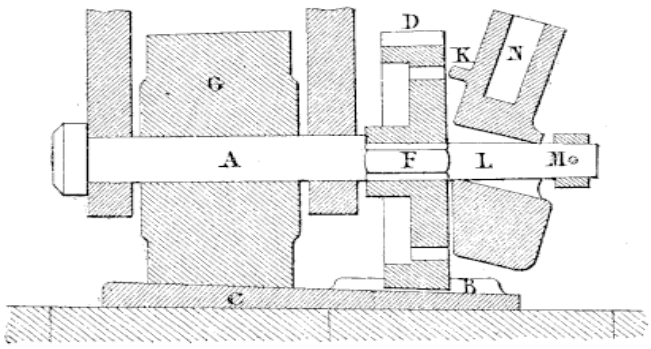


Fig. 46.

Pour les mouvements amples et rapides, on emploie les palans de direction, qui agissent directement sur le châssis.

Les petits déplacements sont obtenus par les galets dentés au moyen de leviers à douille. L'axe A porte, sur une partie taillée à six pans F, un plateau D, et sur l'extrémité cylindrique L un levier à douille N, arrêté par une goupille M. Le levier peut s'incliner sur l'arbre. Il présente un tenon K pouvant s'engager dans des trous ménagés sur le plateau. Pour arrêter les galets dentés sur leur cirulaire, malgré les mouvements du navire, on a muni chacun d'eux d'un cliquet ; celui-ci se manœuvre à la main au moyen d'une poignée, et se trouve d'ailleurs accompagné d'une came.

Lorsqu'on redresse la poignée par un coup sec, la came, en s'appuyant sur la chape, soulève le linguet, et le maintient relevé de manière à permettre le pointage latéral. Lorsqu'on rabat la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

poignée, le cliquet retombe sur le galet avec lequel il engrène et qu'il immobilise.

A bord des navires de construction récente, les appareils de pointage sont mis en mouvement par l'hydraulique. Pour les canons renfermés dans des tourelles mobiles, le pointage en direction est produit par la rotation de la tourelle même. Nous verrons dans un chapitre suivant quelques exemples de ces dispositions.

ENGINS POUR LA MISE EN BATTERIE ET AU RECUL

§ 281. **Galets. Palans.** — Les affûts sont montés sur leurs châssis de manière à glisser avec frottement au départ du projectile ; tandis que, pour la mise en batterie et au recul, ils reposent sur les châssis par l'intermédiaire de quatre galets, deux sous chaque flasque. Les deux galets de l'avant sont fixes. Ceux de l'arrière sont à relèvement ; ils sont montés sur une chape mobile munie de leviers, d'excentriques ou de manivelles, au moyen desquels on peut soulever l'arrière de l'affût et faire porter les galets.

Dans les affûts à frein hydraulique, les galets à relèvement sont remplacés par des galets fixes, le frein étant calculé pour modérer le mouvement de recul.

La mise en batterie ou au recul s'opère avec des palans, sur lesquels les servants agissent, soit directement, soit par l'intermédiaire de treuils. Comme nous le verrons plus tard, pour les pièces de gros calibre, les palans sont actionnés par des presses hydrauliques.

§ 282. **Chaînes et treuils.** — Dans quelques cas, les palans ont été remplacés par des chaînes commandées par des engrenages. L'appareil se compose alors de deux chaînes Galle sans fin placées à l'extérieur le long des côtés du châssis, et mises en mouvement par deux treuils à engrenages. Quand les servants agissent avec les leviers de manœuvre sur l'appareil de relèvement des galets arrière, ils font monter verticalement une crémaillère mobile dans une coulisse adaptée à l'affût, et dont la partie inférieure recourbée se termine par trois dents qui vien-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nent mordre entre les fuseaux du brin supérieur de la chaîne. L'affût est ainsi entraîné dans le mouvement de celle-ci.

Avec ce système on ne peut songer à guider l'affût, l'application des freins hydrauliques est très difficile, et la manœuvre des galets expose les hommes à se blesser.

§ 283. **Rails inclinés sur les côtés du châssis.** — L'affût Krupp de l'artillerie allemande pour canon court de 26^{cm} présente, pour ramener la pièce en batterie, une disposition particulière. Sur chacun des côtés du châssis et vers sa partie postérieure est vissé un rail. L'intervalle compris entre les deux rails est un peu moindre que la distance des deux côtés des flasques de l'affût.

Le rail, terminé en coin, forme un plan incliné à 4°, qui commence un peu en arrière de la position occupée par l'affût en batterie. Quand la pièce recule, les galets arrière de l'affût viennent, après un certain parcours, porter sur ces rails et soulèvent par suite la queue d'affût. Celui-ci continue ensuite à reculer en roulant sur les quatre galets, jusqu'au moment où il est arrêté par un frein hydraulique ou par des tampons de choc en caoutchouc.

Le système de l'affût et de la pièce est alors sollicité par la pesanteur à descendre sur les plans inclinés. Ce mouvement est modéré par un frein hydraulique que nous décrirons plus tard. L'affût revient donc en batterie sans choc. Cette disposition a pour effet de replacer à la fin du recul l'affût sur ses roulettes, ce qui lui permet de rentrer automatiquement en batterie.

APPAREILS SERVANT A LIMITER ET A MODÉRER LE RECUL

§ 284. **Bragues.** — Pour limiter le recul des pièces qui ne sont pas exclusivement gouvernées à l'hydraulique, on emploie les *bragues*.

La brague est un cordage, en général, à quatre torons commis en aussière, et muni à chaque bout d'une cosse par laquelle elle est réunie à des points d'attache. La brague entoure l'affût ; elle se trouve fixée au navire par son courant et à l'affut par ses deux extrémités, ou inversement. Elle supporte une partie de l'effort du recul et en limite l'étendue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 285. **Freins.** — Les canons étaient autrefois montés sur des affûts à quatre roues ; et la brague seule s'opposait au recul. Pour augmenter le frottement, on supprima plus tard les roues de l'arrière. Mais avec la nouvelle artillerie, on a dû chercher un moyen de modérer la vitesse de recul par des résistances artificielles. Les appareils employés à cet usage sont les *freins*.

La résistance du frein doit être proportionnelle à la force qui détermine le recul et variable avec elle. Il faut que le frein soit automatique, et qu'il ne contrarie pas les mouvements de mise en batterie et au recul. Il doit en outre permettre d'immobiliser l'affût à un point quelconque de sa course sur le châssis, dans les mouvements de roulis du bâtiment.

§ 286. **Freins Armstrong à lames.** — Cet organe appliqué par sir W. Armstrong, a été généralement adopté en France lors de la création de l'artillerie M^le^ 1870. Il est composé de lames en fer nommées *lames pendantes* fixées sous l'affût, et glissant, pendant le recul, entre d'autres lames portées par le châssis et nommées *grandes lames*. Le frottement des deux faisceaux l'un contre l'autre est réglé au moyen d'un arbre portant deux vis à pas inverse ; celles-ci, par l'intermédiaire de deux écrous, font mouvoir des mâchoires, qui s'appuyent sur les lames pendantes extérieures et produisent le serrage.

Sur certains châssis les grandes lames sont disposées en deux faisceaux symétriques de chaque côté. Sur d'autres, toutes les lames forment un faisceau unique placé dans l'axe du châssis. Des rondelles d'écartement maintiennent leur distance. La figure 1, planche X, représente un affût avec frein à lames pour canon de 27^cm^. La légende suffit pour en indiquer la disposition.

Ce genre de frein n'est pas automatique ; il exige une attention et des soins constants. De plus, il ne remplit que très imparfaitement les conditions de résistance progressive dont nous avons parlé au paragraphe précédent. Mais il est maniable, peu sujet aux avaries ; et, s'il en survient, on peut facilement les réparer à bord. Ce sont là des avantages précieux en cours de campagne.

Des expériences ont eu lieu à Gâvres pour reconnaître si l'emploi exclusif de ces freins pourrait suffire à l'artillerie actuelle. On a constaté que le frein à lames était insuffisant avec les grandes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vitesses de recul auxquelles on est arrivé aujourd'hui et l'espace limité dont on dispose à bord ; l'adjonction de freins hydrauliques fut alors décidée.

§ 287. **Freins hydrauliques. 1° Tampon hydraulique.** — Il existe deux genres de freins hydrauliques, suivant que, pour la manœuvre des affûts, on emploie la force seule de l'homme ou celle de la vapeur.

Le tampon hydraulique est formé d'un cylindre, porté par l'affût, et se mouvant sur un piston fixe, dont la tige est reliée au châssis.

Le cylindre est hermétiquement fermé et rempli d'un liquide incongelable, la glycérine. Les deux parties du corps de pompe séparées par le piston communiquent entre elles par des orifices percés dans le piston, et dont la section a été déterminée par expérience. Le cylindre doit être complètement plein pour éviter les chocs. De plus, afin de rendre la résistance du frein uniforme par un écoulement du liquide en rapport avec la vitesse du recul, on fait varier le diamètre intérieur du cylindre, laissant ainsi un jeu plus ou moins grand autour du piston.

Cet appareil est de construction simple et solide ; il ne s'oppose pas au départ de l'affût ; il est automatique. Mais la rupture du cylindre entraine la mise hors de service de l'affût, et n'est pas réparable à bord. Aussi, tout en appliquant ce système aux affûts, on conserve encore le frein à lames, qui lui vient en aide, pour maintenir l'affût sur le châssis et au besoin le remplacer.

Les tampons hydrauliques sont calculés de façon que le recul ne soit que les 8/10 du recul total permis par l'affût. Cette régulation adoptée en France peut ne pas convenir dans d'autres climats, la fluidité de la glycérine variant avec la température. Aussi l'un des trous percés dans le piston est disposé de façon que l'on puisse en faire varier le diamètre.

La fluidité de la glycérine dépend tellement de la température et du lieu de provenance qu'on peut obtenir avec le même affût des longueurs de recul variant du simple au double.

En 1881, on a essayé à Sevran-Livry une huile lourde de pétrole de provenance russe, nommée *oléonaphte*, qui a donné de bons résultats, et peut être avantageusement substituée à la glycérine. Il est facile de l'obtenir pure ; sa fluidité varie beaucoup

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moins avec la température ; et son prix est inférieur de moitié. Les Anglais emploient depuis longtemps une huile de pétrole provenant de Rangoon.

§ 288. **2° Frein hydraulique Armstrong.** — Ce frein est surtout employé sur les affûts hydrauliques ; et il est combiné avec les appareils de manœuvre de l'espèce (voir 4e partie).

Deux cylindres symétriques en acier coulé et martelé sont fixés sur des supports parallèlement aux côtés du châssis. Le piston de chaque cylindre fait corps avec sa tige ; celle-ci est reliée directement à l'affût, et présente une section égale à la moitié de celle du piston.

Chaque cylindre est muni d'une boite de distribution, recevant l'eau d'un accumulateur, et communiquant avec une bâche (fig. 47).

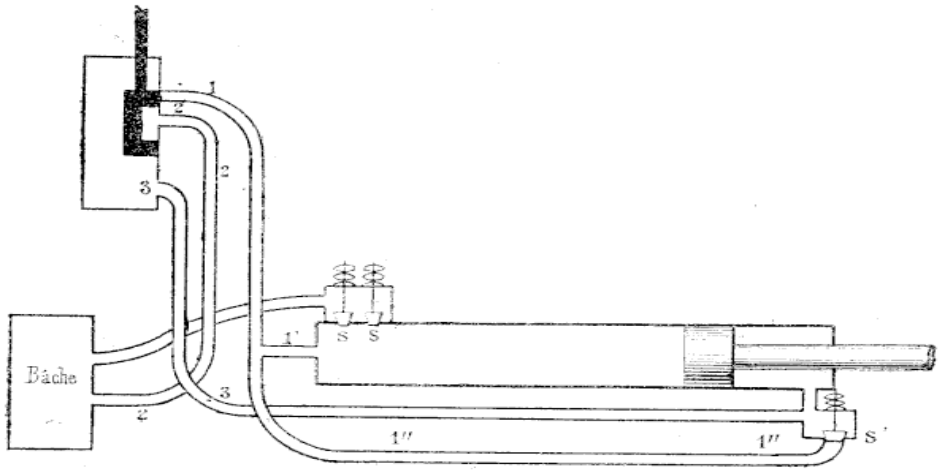


Fig. 47.

A l'intérieur du cylindre sont disposées des soupapes maintenues par des ressorts Belleville.

Pendant le recul, qui s'effectue de droite à gauche sur notre figure, l'eau refoulée revient en partie, par le tuyau 1'' et à travers la soupape S', remplir le vide qui se produit sur la face avant du piston ; une autre partie, équivalente au volume de la tige du piston, se rend dans la bâche à eau, en soulevant les soupapes S, S.

En admettant le cylindre plein d'eau, la différence des pres-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sions à l'avant et à l'arrière du piston est égale à la différence des surface AV et AR multipliée par la pression ramenée à l'unité de surface. Or, la différence de ces surfaces étant précisément la section de la tige, on voit que l'effort de résistance dans le recul est le même que si la tige seule agissait comme piston plongeur dans un cylindre de même diamètre.

La tension progressive des ressorts des soupapes de recul fournit un réglage automatique.

Le tiroir de la boîte de distribution est commandé par un levier dans la main d'un servant, et permet de faire arriver l'eau sur l'une ou l'autre face du piston, pour obtenir à volonté le maintien de l'affût sur le châssis, la mise en batterie et hors de batterie.

Supposons, par exemple, que dans la figure 47 on soulève le tiroir; les tuyaux 1 et 2 se trouvent en communication ; l'eau s'évacue à la bâche par les tuyaux 1′, 1, 2, et la pièce vient au recul. Si nous abaissons le tiroir, les orifices 1 et 3 sont ouverts ensemble; et la pression étant prépondérante à l'AR du piston, la pièce va en batterie.

DESCRIPTION DE QUELQUES MODÈLES D'AFFÛTS PARTICULIERS

§ 289. **Affût anglais à éclipse du « Téméraire »** (Pl. X, fig. 2). — A bord du *Téméraire*, cuirassé anglais à tourelle barbette, on a remplacé l'affût et le châssis par un parallélogramme articulé, au moyen duquel le canon au recul peut s'abaisser derrière la cuirasse et être chargé à l'abri. La force du recul est absorbée par la résistance progressive d'un piston hydraulique, dont la tige est articulée à la culasse du canon, et sur lequel la pression de l'eau agit pour élever la pièce à son poste après le chargement. Nous nous bornons à indiquer le principe de cette disposition, sans entrer dans le détail des organes.

§ 290. **Affût anglais pour canon à sabord réduit** (Pl. X, fig. 3). — Dans les tourelles complètes de quelques-uns de leurs navires (*Hydra*, *Dévastation*), les Anglais ont installé les canons sur des affûts qui permettent d'élever ou d'abaisser les tourillons, faisant décrire un certain angle au corps du canon

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

autour de la bouche, et modifiant ainsi, pour chaque élévation des tourillons, le champ de tir vertical.

Les tourillons reposent sur des paliers mobiles dans des coulisses verticales qui sont adaptées aux flasques. Le soulèvement des tourillons s'obtient à l'aide d'une presse hydraulique installée entre les flasques, et mise en mouvement par une pompe à double effet. Celle-ci est logée dans un évidement pratiqué dans les flasques. L'extrémité de la tige du piston de cette presse agit sur un support, qui soulève le canon et permet de changer le palier mobile portant les tourillons. Cette opération terminée, on amène la pièce, qui ne doit reposer que sur ses tourillons pendant le tir.

§ 291. **Affût automatique italien Albini** (Pl. X, fig. 4). — Le capitaine de vaisseau Albini, de la marine italienne, a imaginé, pour les canons de 7^{cm} des embarcations et pour les canons de 12^{cm} qui arment les avisos et les ponts des cuirassés, un affût automatique présentant une grande simplicité de construction et de manœuvre.

Dans ce système, le recul de la pièce est transformé en un mouvement de rotation qui élève le canon; celui-ci retombe lui-même en batterie par son propre poids.

Le canon repose, par ses tourillons, sur deux bras en fer mobiles à leur extrémité inférieure, autour d'un axe horizontal, et réunis à leur extrémité supérieure par un arbre coudé; ces bras sont articulés chacun avec la tige d'un piston. Les deux pistons, semblables à ceux des freins hydrauliques, sont percés de quatre trous, et se meuvent dans des cylindres remplis de glycérine. Ceux-ci peuvent aussi pivoter autour de leur partie inférieure, qui est traversée par un boulon. Tout le système repose sur une petite plate-forme fixée au bâtiment.

L'action du recul a pour effet de faire pivoter les deux bras autour de leur axe horizontal, et, par suite, de soulever le canon. Les tiges des pistons sont entraînées dans ce mouvement; la glycérine est forcée de s'écouler par les trous avec une assez grande vitesse, ce qui crée une résistance modératrice et limite le mouvement ascensionnel de la pièce.

Quand le recul est terminé, le poids du canon le fait redescendre lentement; et la glycérine, repassant en sens inverse par

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les trous des pistons, tout le système se trouve replacé dans les mêmes conditions qu'avant le tir. La pièce a été ramenée automatiquement en batterie.

§ 292. **Affût Vavasseur.** — Cet affût, qui a beaucoup d'avenir, a été essayé pour les canons de 10^{cm} et de 16^{cm}. Il offre quelques particularités remarquables sur lesquelles nous allons appeler l'attention. La planche X, figure 5, représente l'affût Vavasseur pour canons de 10^{cm}. Il est à pivot central, et comporte trois parties principales : l'affût, le châssis et une sellette avec circulaire.

L'affût, très court et très bas, n'est composé, en réalité, que des sous-bandes et des cylindres de freins. Il repose sur les faces supérieures des côtés du châssis et sur des roulettes logées dans les évidements des flasques, et affleurant le plan des faces supérieures du châssis. Des agrafes solides relient les flasques de l'affût aux côtés du châssis sur une assez grande longueur.

Les faces supérieures du châssis ont une inclinaison de 10°. L'affût vient se capeler, par une partie cylindrique de sa sole, sur la sellette ou plaque-pivot ; et il est relié à cette sellette par deux fortes agrafes. Le châssis porte des galets roulant sur la circulaire de la sellette. Dans l'affût pour canon de 10^{cm}, ces galets sont remplacés par des plaques frottantes.

La sellette, solidement fixée au pont, comporte une circulaire et une partie cylindrique taillée en engrenage destinée au pointage en direction.

Le pointage en hauteur se fait au moyen d'un arc denté commandé par un pignon et une vis sans fin. L'arbre de la vis est fixé au châssis ; et la vis entraînée par le recul de l'affût peut glisser le long de son arbre. Celui-ci présente à cet effet une rainure, dans laquelle s'engage l'ergot qui sert à entraîner la vis dans le mouvement de rotation de l'arbre.

L'arbre étant fixé au châssis, on peut corriger le pointage en hauteur jusqu'au dernier moment.

Le pointage en direction est obtenu au moyen de la roue dentée, qui fait corps avec la sellette et dans laquelle vient engrener une vis sans fin. Celle-ci est commandée par une transmission à engrenage qu'actionne une manivelle.

Dans l'affût de 10^{cm}, la mise en batterie est automatique,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

comme dans les autres affûts à freins hydrauliques. Les reculs sont de 380mm. Dans l'affût de 16cm, les reculs varient entre 450 et 490mm.

	POIDS	
	Affût de 10cm	Affût de 16cm
Affût	406kg	1.080kg
Châssis	744	2.800
Sellette	470	1.320
Total	1.620kg	5.200kg
Prix	7.300f	17.800f

§ 293. **Affût pour canon de 16cm (système Canet).**— La Société des forges et chantiers de la Méditerranée a combiné, pour ses canons de 16cm (système Canet), un affût d'une manœuvre très simple. Nous donnons comme exemple celui qui a été installé à bord de l'aviso *le Toussaint-Louverture* (Pl. XI, fig. 1).

L'affût, à pivot central, est muni d'un frein hydraulique du système Vavasseur. Comme le montre la figure, l'encombrement est aussi réduit que possible; car la partie arrière ne dépasse pas la tranche de culasse du canon en batterie; et le diamètre de la sellette circulaire, fixée au fond du navire, est très faible relativement à la longueur de la pièce.

Ce canon est destiné au tir en chasse et au tir latéral. Son champ de tir est de 236°.

Le recul, limité à 600mm, s'exerce sans fatigue pour les organes de l'affût. La rentrée en batterie se fait d'elle-même, comme on le veut, en réglant en conséquence l'ouverture de la soupape qui permet l'écoulement de la glycérine.

Tout le système est préservé par un masque en tôle.

Poids du canon	5.000kg
Id. de l'affût	1.100
Id. du châssis	2.400
Id. de la sellette	1.000
Poids total du canon et de l'affût	9.500kg
Poids du masque	950kg
Poids du projectile	54kg
Id. de la charge	22
Vitesse initiale	620m

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3E PIE. — CHAPITRE VI

PETITE ARTILLERIE

ARTILLERIE DES EMBARCATIONS

§ 294. **Canon**. — L'artillerie des embarcations est destinée à combattre les autres embarcations, à déblayer une plage pour un débarquement, à attaquer les navires au mouillage et les torpilleurs. Il faut des canons légers et à tir rapide. Comme le pointage en direction pour les grands déplacements se fait par l'embarcation même, l'affût n'a pas besoin de fournir un grand angle de pointage latéral; il n'est pas nécessaire non plus de lui assurer un long champ de recul, l'embarcation elle-même absorbant par son propre recul une grande partie de la force vive.

La composition de l'artillerie des embarcations a été depuis quelque temps profondément modifiée par la mise en service des canons-revolvers. Toutefois, comme il existe encore un certain nombre de chaloupes munies du canon de 90 en bronze, nous allons en donner la description, bien qu'il soit appelé à disparaître.

Le canon en bronze de 90 a une longueur de $2^{m},168$, et pèse 605^{kg}; il lance un obus ordinaire de 8^{kg} et une boite à mitraille à la charge réduite de 1.320^{gr}.

§ 295. **Affût**. — La chaloupe porte deux rails longitudinaux (Pl. XI, fig. 2), formant chemin de fer pour le châssis. Celui-ci se compose de deux poutrelles en bois réunies à l'avant et à l'arrière par des entretoises semblables, et au milieu, par deux entretoises portant une plaque de tôle circulaire, sur laquelle se fait la rotation de l'affût. Une pièce longitudinale réunit les entretoises centrales, et est percée d'un trou ovale garni de fer, pour le passage du T qui sert d'axe dans ce mouvement. Les deux poutrelles sont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

munies de liteaux pour empêcher l'affût de décapeler de dessus les châssis. Dans la partie centrale correspondant à la plaque de rotation, ces liteaux sont mobiles.

Sous les poutrelles sont placées quatre roulettes en fer permettant de faire courir le châssis sur les rails.

A l'AV et à l'AR, la chaloupe porte un massif en bois, sur lequel vient reposer à volonté l'une des deux entretoises du châssis. Ces deux pièces sont réunies par la cheville ouvrière. Pour mettre le canon en position de tir, on soulève le châssis ; et on introduit dessous deux bancs mobiles en bois encastrés sur les flancs de la chaloupe ; de sorte que le châssis ne repose plus sur les rails.

L'affût est en bois, et il est consolidé par une bande de renfort en acier. La semelle à l'avant est taillée en plan incliné, de façon qu'en cette partie l'affût repose sur son châssis par l'intermédiaire de deux roues en bronze. Cette disposition sert à faciliter la mise en batterie. L'entretoise arrière reçoit l'appareil de pointage en hauteur. Celui-ci est formé d'une vis ayant pour écrou une plaque de fer boulonnée à l'entretoise ; sa tête supporte le renfort du canon ; elle est manœuvrée par quatre manettes.

L'affût est muni d'un frein à frotteurs. Ces derniers, supportés par l'affût, viennent s'appuyer par leur face verticale sur les poutrelles du châssis. Ils sont reliés par une tige filetée en sens inverse à ses deux extrémités, et dont la rotation les serre contre les poutrelles du châssis.

L'affût est en outre arrêté par une brague, passant dans un trou ménagé de chaque côté des flasques et amarrée sur deux pitons de la chaloupe. Des palans de côté servent aux manœuvres de mise en batterie.

ARTILLERIE DE PLAT-BORD

§ 296. **Affût.** — L'artillerie de plat-bord comprend des bouches à feu légères, de petit calibre, d'un maniement facile, tirant par-dessus le plat-bord des vaisseaux ; elle vient en aide à la mousqueterie et contribue beaucoup à la défense contre les embarcations et les torpilleurs. Dans cette catégorie se classent les canons-revolvers et les canons à tir rapide, dont nous avons donné la description, 3e partie, chapitre IV.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A ces pièces montées sur chandelier, on a adjoint dernièrement le canon de 65^{mm} de débarquement, pour lequel on a construit un affût spécial, dit *affût de plat-bord*.

C'est un affût à châssis avec frein hydraulique ; il est assez surélevé pour permettre le tir par-dessus le plat-bord ; le recul a comme limite extrême 25^{cm}. Le châssis (Pl. XI, fig. 3) est en tôle d'acier ; l'affût est en bronze.

Le châssis repose à l'avant sur une plaque en bronze, portant la cheville ouvrière et formant la base supérieure d'un tronc de pyramide triangulaire P, dont les faces en tôle sont boulonnées contre la muraille et le pont du navire. La plaque est entourée sur l'arrière par une bordure munie d'une rainure circulaire M, ayant pour centre l'axe du pivot. A l'arrière, le châssis repose sur une circulaire en bronze boulonnée à une pièce en bois fixée au pont.

Le châssis est composé d'une lame d'acier étirée C, repliée en forme d'un U. Il est soutenu en son milieu par une forte entretoise E, et à l'arrière par une petite entretoise boulonnée en même temps avec les tampons de choc. La traverse avant porte une oreille, qui sert de point fixe à la tige du piston hydraulique.

La partie avant de la lunette (Vue 2) est percée d'un trou A pour la cheville ouvrière ; et ses deux branches portent chacune un épaulement boulonné à la traverse avant du châssis, puis elles se terminent par un appendice qui coulisse dans la rainure de la plaque en bronze. Ainsi la lunette sert elle-même d'agrafe ; et la plaque en bronze joue le rôle de circulaire avant.

L'affût, évidé à ses flasques, est coulé d'un seul morceau. Ses poutrelles reposent directement sur celles du châssis ; deux liteaux forment agrafe à la partie interne, et coulissent dans des rainures du châssis. La tige du cylindre de frein est fixée à l'entretoise avant du châssis. L'écoulement du liquide se fait par deux rainures symétriques à profondeur variable, pratiquées dans le métal du cylindre, et par deux échancrures ménagées sur le piston et correspondant avec les rainures du cylindre.

§ 297. **Appareils de pointage.** — L'appareil de pointage en hauteur (fig. 3, vue 4) comprend un arc denté, fixé au tourillon du canon, et actionné par une vis sans fin, dont l'arbre est commandé par un volant.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'appareil de pointage en direction (fig. 3, vue 3) est formé d'une vis sans fin à axe horizontal, qui engrène avec une denture pratiquée au-dessous de la circulaire R. L'arbre de la vis sans fin est oblique aux poutrelles du châssis, en dessous desquelles il est supporté dans deux coussinets ; ceux-ci sont disposés de façon qu'on puisse à volonté mettre la vis sans fin en prise avec la circulaire. A cet effet, le coussinet de droite est soutenu dans son logement par un coin qui se met ou se retire à volonté. Si l'on fait tomber le coin, la vis sans fin se dégage et cesse de mordre sur les dents de la circulaire. Pour rembrayer, on soulève la vis à la main, et un ressort à boudin repousse automatiquement le coin sous le coussinet. En agissant sur une tige qui comprime ce ressort, on retire le coin.

CANON DE DÉBARQUEMENT DE 75^{mm} (SYSTÈME CANET) MONTÉ SUR AFFUT MARIN

§ 298. **Affût.** — La Planche XI, fig. 4, nous montre un canon de 75^{mm} de débarquement (système Canet), construit par la Société des forges et chantiers de la Méditerranée. Cette pièce, du type de montagne, peut être placée sur des affûts d'embarcation.

L'affût dont nous donnons le dessin est à balancier et à frein hydraulique. Le frein est disposé pour remplir son office aussi bien pendant le retour en batterie que durant le recul. Le retour en batterie est assuré par l'action d'un certain nombre de rondelles Belleville.

Le pointage en hauteur se fait en agissant avec une vis sans fin sur la partie inférieure du balancier.

Le pointage en direction est donné à la main au moyen d'un levier.

Un masque en tôle protège tout le système à l'avant et sur les côtés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3E PIE. — CHAPITRE VII

TOURELLES ET TOURS

§ 299. **Considérations générales.** — Le cuirassement des navires a eu pour conséquences d'importantes transformations dans le matériel d'artillerie marine. Avant l'adoption du blindage on cherchait à mettre en batterie le plus grand nombre de pièces ; et dans les débuts la marine cuirassée a suivi les mêmes principes. Mais l'épaisseur des murailles prenant des proportions de plus en plus considérables, on a dû diminuer la surface blindée. On s'est trouvé en même temps dans l'obligation d'augmenter énormément le calibre des canons pour perforer les cuirasses. On a donc été forcé d'en réduire le nombre et de chercher des dispositions permettant de tirer de l'artillerie le meilleur parti possible. C'est dans ce but qu'on a imaginé des *demi-tourelles* ou *tourelles barbettes*, et des *tourelles complètes* ou *tours* proprement dites, qui protègent suffisamment les pièces et leur permettent d'embrasser le champ de tir le plus vaste.

Les tourelles barbettes sont toujours fixes ; le canon est porté par une plate-forme analogue aux plaques tournantes des chemins de fer.

Dans les tourelles complètes, la plate-forme fait partie intégrante de la muraille ; la pièce, la plate-forme et la tour sont entraînées ensemble dans le même mouvement de rotation.

En tous cas le châssis est solidaire de la plate-forme, qui par sa rotation détermine l'orientation de la pièce. Nous allons citer quelques dispositions en usage.

§ 300. **Tourelle barbette pour canon de 24cm, (type Océan)** (Pl. XII, fig. 1). — La plate-forme mobile roule par l'intermédiaire de galets sur une circulaire boulonnée au pont.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Elle tourne autour d'un pivot, qui sert en même temps pour le passage des munitions. Une roue à denture intérieure est fixée à la tourelle ; un pignon porté par la plate-forme mobile engrène avec cette couronne ; il est placé à l'extrémité d'un arbre vertical, et mis en mouvement par une manivelle et une roue d'angle.

§ 301. **Tour tournante de garde-côtes (type Bélier)** (Pl. XII, fig. 2). — La tour est divisée en deux parties. Celle du bas, qui est fixe, sert à abriter le mécanisme et à supporter la portion mobile. Celle-ci tourne autour d'un axe creux en fonte à travers lequel on amène les munitions. Ce pivot est fortement relié à la partie fixe par des rayons.

La portion mobile repose par des galets sur une circulaire, et elle porte une roue à denture intérieure, mise en mouvement par un pignon à axe vertical ; ce dernier est commandé lui-même au moyen d'une manivelle et d'une transmission placée dans l'intérieur de la partie fixe.

§ 302. **Tour tournante, système Coles** (Pl. XII, fig. 3). — Comme dans le cas précédent, la partie mobile est supportée par une partie inférieure contenant le mécanisme de transmission et le pivot. Elle tourne sur des galets à axes horizontaux portés par la partie fixe.

La portion mobile est munie d'une couronne dentée extérieure, mise en mouvement par un pignon à axe vertical, que l'on commande au moyen d'une manivelle et d'une roue d'angle.

§ 303. **Tour tournante, système Ericeson, type des Monitors** (Pl. XII, fig. 4). — La tour est formée d'une partie unique supportée par un pivot plein, sur lequel s'assemblent les barrots des deux planchers. Le pivot repose dans une crapaudine traversée par une clavette, qui sert à soulever l'axe et la tour pour la manœuvre.

Une roue dentée est fixée aux barrots du plancher inférieur de la tour ; et au moyen d'un système d'engrenages elle est mise en mouvement par une machine à vapeur. Le pivot ne tourne pas ; il sert seulement à supporter la tour. A son extrémité supérieure est fixé l'abri du timonier, où est montée la roue de manœuvre du gouvernail.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3E PIE. — CHAPITRE VIII

COUP D'ŒIL GÉNÉRAL SUR L'ÉTAT DE L'ARTILLERIE CHEZ LES DIVERSES NATIONS MARITIMES

FRANCE

ARMEMENT DES NAVIRES DE COMBAT

Les tableaux qui suivent ne comportent que des renseignements généraux.

Pour les détails complémentaires, nous renvoyons aux ouvrages spéciaux, et particulièrement au *Carnet de notes et renseignements de M. le commandant Gadaud*, auquel nous avons fait de nombreux emprunts.

§ 304. **Canon de 10cm :**

	MODÈLES			
	75	**75 M** (en essais)	**75-79** (en essais)	Schultz (en essais)
Projectiles de combat. . . Obus de combat.	12kg	14kg	12kg	15kg,260
Boîtes à mitraille (petites balles).	8 ,5	»	»	»
Obus à balles (à l'étude).	11	»	»	»
Poudre W 13/16 charge obus	3kg,200	4kg,300	4kg,350	7kg,630
Vitesse initiale	485m	près de 500m	549m	600m et plus
Pression à la culasse par centim. carré.	2.200kg	»	2.457kg	3.600kg
Longueur d'âme (en calibres).	26	»	26	30 env.
Poids du canon.	1.200kg	»	»	»
Portée de l'obus sous inclinaison de 35°	7.900m			

Perforation de l'obus de 10cm, Mle 75, à 1.200m :
Tiré normalement et sous l'incidence de 28°, il traverse une tôle d'acier de 6mm d'épaisseur.
A la même distance, sous 41° 9' d'inclinaison, il traverse 84cm d'épaisseur massif en bois.

Affûts hydrauliques, Mle 79, en fer, et pourvus des améliorations les plus récentes : galets fixes ; — appareil mécanique pour le pointage ; — mise en batterie et au recul à l'aide d'une vis sans fin ; — un ou deux cylindres pour le frein hydraulique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 305. **Canon de 14^{cm}** :

		MODÈLES 70	79 M (gaillards des croiseurs)
Projectiles de combat. . .	Obus de combat.	28^{kg}	28^{kg} (*)
	Mitrailles. Grosses balles	18	»
	Mitrailles. Petites balles.		
Poudre W $\frac{13}{16}$ ou A_3 charge obus.		4^{kg}, 100	6^{kg} W $\frac{13}{16}$ ou A_3 B ou A_3 S
Vitesse initiale		406^{m}	466^{m}
Pression à la culasse par centim. carré		1.875^{kg}	2.200^{kg}
Longueur d'âme (en calibres).		21	21
Poids de la bouche à feu		2.700^{kg}	
Portée sous inclinaison de 35° environ.		8.000^{m}	9.000^{m}

Affûts pour canons de 14^{cm} :

- de gaillards, M^{le} 75. . . . . (Poids = 2.650^{kg}.) — Pivot N ou central; — sole mobile à vis double de pointage; — frein à lames; — galets de relèvement; — palans pour le pointage en direction, la mise en batterie et au recul; — châssis avec plaques d'appui glissant sur la circulaire.
- de batterie, M^{le} 76. . . . . (Poids = 2.950^{kg}.) — Semblable au précédent; — flasques moins élevées; — vis simple ou double de pointage manœuvrée par des volants.
- de gaillards à pivot N, M^{le} 78. . . (Poids = 3.300^{kg}.)
- de gaillards à pivot central, M^{le} 78. (Poids = 3.650^{kg}.)
- de batterie à pivot N, M^{le} 78. . . . (Poids = 3.100^{kg}.)

Augmentation du nombre de lames de frein (4 au lieu de 3 de chaque côté); — au lieu de plaques d'appui au châssis, galets roulants. — Pour le pointage en hauteur, le canon repose sur une traverse en fer, qui monte ou descend, suivant la manière dont on agit sur une vis double manœuvrée par des volants.
L'affût à pivot central est muni d'un appareil mécanique pour le pointage en direction.

§ 306. **Canon de 16^{cm}.** — L'artillerie M^{le} 1870 ne devait pas comprendre d'abord le calibre de 16^{cm}. En 1877, on a adopté un canon de 16^{cm}, qui a été dénommé 16^{cm} M^{le} 1870, mais dont le tracé primitif a été modifié comme ceux des autres calibres du M^{le} 1870.

		MODÈLE 70
Projectiles de combat. . .	Boulet de rupture, fonte dure.	45^{kg}
	Obus de rupture, acier.	45
	Obus oblong, fonte ordinaire	45
	Mitrailles. Petites balles	31
	Mitrailles. Grosses balles.	
Poudre pour projectile de 45^{kg}, charge de		18^{kg} W $\frac{25}{30}$
Vitesse initiale du projectile de 45^{kg}.		543^{m}
Pression à la culasse par centim. carré avec projectile de 45^{kg}		2.500^{kg}
Longueur d'âme (en calibres)		21
Poids de la bouche à feu.		5.060^{kg}
Portée de l'obus sous inclinaison de 35° environ		10.600^{m}
Puissance de perforation à bout portant, tir normal.	muraille en bois de. . . .	84^{cm}
	avec plaques de.	21^{cm},1

(*) Pour l'artillerie 81, on a essayé, en 1882, un obus à *ogive allongée* du poids de 30^{kg}, qui a été adopté.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les *affûts* destinés au 16cm Mle 1870 sont à freins hydrauliques (deux cylindres), et munis des perfectionnements les plus récents. Arc denté pour le pointage en hauteur.

Un certain nombre d'affûts à châssis tournant, avec masque en tôle, destinés à l'ancien Mle 1864-1866, existent dans les ports et peuvent être appropriés au service du 16cm Mle 1870.

§ 307. **Canon de 19cm :**

		MODÈLES 70	MODÈLES 70 M
Projectiles de combat	Boulet de rupture, fonte dure	75kg	75kg
	Obus de rupture, acier	»	»
	Obus oblong, fonte ordinaire	62kg,500	62kg,500
	Mitrailles. Petites balles / Grosses balles	48kg	48kg
Poudre	pour projectile de 75kg, charge de	15kg W $\frac{23}{16}$ ou Λ_3	27kg W $\frac{25}{30}$
	pour obus de 62kg,5 id.	id.	24kg,3 id.
	Mitraille		
Vitesse initiale	Projectile de 75kg	448m	530m
	Obus de 62kg,5	485	530
Pression à la culasse par centim. carré	Projectile de 75kg		2.600kg
	Obus de 62kg,5		2.000kg
Longueur d'âme (en calibres)		19,8	19,8
Poids de la bouche à feu		7.960kg	7.960kg
Portée de l'obus sous inclinaison de 35° environ		9.000m	9.400m
Puissance de perforation normale à bout portant, le boulet de rupture traverse une muraille de 84cm avec plaques de		20cm,2	26cm,7

Affûts pour canons de 19cm

de batterie, Mle 67, transformé pour canon, Mle 70. (Poids = 3.760kg.)	Freins à lames (2 faisceaux) ; — palans pour pointage latéral ; — chaîne galle ; — galets de relèvement Æi.
de gaillards ou de demi-tourelle, Mle 76. (Poids = 4.650kg.)	Pivot N ; — appareil mécanique pour pointage en direction ; — châssis à un seul faisceau de lames, repose sur circulaires par plaques d'appui à l'avant et 2 galets à l'arrière, galets de relèvement pour l'affût ; — chaîne galle. Dans les nouveaux affûts de demi-tourelle : galets fixes ; — 2 cylindres hydrauliques ; — arc denté.
de teugue, Mle 76 ou 77. (Poids = 4.470kg.)	Un seul faisceau de lames ; — châssis repose sur le pont au moyen de 4 paires de galets ; — palans de direction, de côté et de retraite ; — chaîne galle.
à châssis tournant pour tourelle d'aviso ou de canonnière. (Poids = 6.560kg.)	Pivot central ; — plate-forme pour le pointeur et masque circulaire en tôle ; — frein à sabot ; — brague de tir ; — chaîne galle ; — organes mécaniques pour le pointage en direction. L'affût à châssis tournant pour tourelle d'aviso ne diffère de celui pour tourelle de canonnière que par les dimensions verticales.
à plate-forme tournante pour cuirassé de station. (Poids = 12.450kg.)	Semblable au précédent. L'appareil mécanique pour le pointage en direction est fixé à la plate-forme, qui tourne sur galets.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 308. **Canon de 24^{cm} :**

		MODÈLES 70	MODÈLES 70 M
Projectiles de combat	Boulet, fonte dure.	144^{kg}	144^{kg}
	Obus de rupture, acier		
	Obus oblong, fonte ordinaire. . . .	120^{kg}	120^{kg}
	Mitrailles. Grosses balles	96^{kg}	
	Mitrailles. Petites balles.	100^{kg}	
Poudre	Projectile de 144^{kg}, charge de	28^{kg},5 W $\frac{20}{25}$ ou 30^{kg} AS $\frac{26}{34}$	46^{kg},5 W $\frac{25}{30}$
	Obus oblong de 120^{kg} id.	id.	id.
	Mitrailles.	28^{kg},5	
Vitesse initiale. . . .	Projectile de 144^{kg}.	440^{m}	495^{m}
	Obus de 120^{kg}	474^{m}	500^{m}
Pression à la culasse par centim. carré.	Projectile de 144^{kg}.	2.200^{kg}	2.500^{kg}
	Obus de 120^{kg}	»	2.100^{kg}
Longueur d'âme (en calibres)		18	18
Poids de la bouche à feu.		15 660^{kg}	15.660^{kg}
Portée de l'obus.		10.000^{m}	10.800^{m}
Perforation normale, à bout portant : projectile de rupture traverse une muraille en bois de 84^{cm} avec plaque de . . .		28^{cm}	34^{cm}

Affuts pour canon de 24^{cm} :

- de batterie à châssis, M^{le} 64 ou 67. . . . . Freins à 12 lames en 2 faisceaux (M^{le} 64), un seul faisceau (M^{le} 67); — palans de direction, de côté et de retraite; — galets de relèvement; — chaîne galle.
  Poids (pour M^{le} 67=6.650^{kg} et M^{le} 67=6 200^{kg}.)
- à plate-forme tournante pour tourelle. . . . . Diffère du précédent par une plus grande élévation des flasques et par une chaîne galle pour la mise en batterie ou au recul; — circulaire dentée et pignon pour le pointage en direction.
  (Poids = 17.760^{kg}.)
- de tour mobile pour garde-côtes. . . . . C'est l'affût de batterie, M^{le} 67, dépourvu des organes qui servent à la rotation du châssis, et muni de chaînes galle pour la mise en batterie et au recul.
  (Poids = 6.208^{kg}.)
- de teugue, M^{le} 76 . . . . . Côtés du châssis plus élevés que ceux de batterie, M^{le} 67; — pointage mécanique à pignon conique et à circulaire dentée.
  (Poids = 8.440^{kg}.)
- à pivot central et freins hydrauliques. . . . .
  (Poids = 11.510^{kg}).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 309. **Canon de 27cm :**

		MODÈLES					
		70	**70 M**	**70-79** (en expér.)	**75**	**75 M** (n° 1)	**75-79**
Projectiles de combat	Boulet, fonte dure	216kg	216kg		216kg	216kg	216kg
	Obus de rupture, acier						
	Obus, fonte ordinaire	180kg					
	Mitrailles. Grosses balles	146kg					
	Mitrailles. Petites balles						
Poudre	Projectile de 216kg, charge	42kg W $\frac{20}{25}$	64kg,5 W $\frac{30}{38}$ ou AS $\frac{30}{40}$		62kg W $\frac{30}{38}$	80kg	108kg
	Obus de 180kg	id.	57kg,5 W $\frac{30}{38}$	id.	55kg W $\frac{30}{38}$		
	Mitrailles	42kg					
Vitesse initiale	Projectile de 216kg	434m	490m		500m	535m	596m (probable)
	Obus de 180kg	470m	495m				
Pression à la culasse par centim. carré	Projectile de 216kg	2.300kg	2.500kg		2.550kg		2.700kg (probable)
	Obus de 180kg	2 100kg	2.050kg		1.976kg		
Longueur d'âme (en calibres)		18	18	25	20	20	28,5
Poids de la bouche à feu		23.200kg	23,200kg		27.800kg	27.800kg	31.300kg
Portée de l'obus sous inclinaison de 36°		11.200m	10.800m		11.800m		
Pénétration normale à bout portant; le boulet de rupture traverse une muraille de 84cm en bois, avec plaque de		34cm,1	41cm,3		42cm,7	47cm	54cm

Affûts pour canon de 27cm

- de batterie, Mle 68 modifié, pour canon de 27cm, Mle 70. (Poids = 10.640kg.) — Frein à lames en deux faisceaux (8 ou 9); — chaîne galle pour pointage en hauteur; — pour le pointage en direction, palans et engins mécaniques employés simultanément.
- de demi-tourelle, Mle 76. (Poids = 19.370kg.) — Diffère du précédent par le mode d'installation du pivot et par le pointage en direction, qui se fait à l'aide de treuils de pointage latéral placés sur les galets arrière.
- de teugue, tourelle et de retraite, pour garde-côtes et grands cuirassés. (Types divers.) — Ces affûts de types très variés sont à freins et manœuvre hydrauliques; — galets fixes; — chaîne galle pour la mise en batterie et au recul; — arc denté — pointage en direction à double mouvement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 310. Canon de 34cm :

		MODÈLES 75	75 M	75-79	Schultz (en construction)
Projiles de combat	Boulet de rupture	420kg	420kg		
	Obus, acier très dur et non coulé (St-Chamond et Unieux)				
	Obus oblong	350kg			
Poudre	Projectile de 420kg, charge	116kg AS 30/40		210kg	
	Obus de 350kg	105kg			
Vitesse initiale	Projectile de 420kg	486m		596m	
	Obus de 350kg	492m			
Pression à la culasse par centim. carré	Projectile de 420kg	2.700kg			3,600kg (probable)
	Obus de 350kg	2.400kg			
Longueur d'âme (en calibres)		18	18	28,5	
Poids de la bouche à feu		48.340kg	50.550kg	59.200kg	
Portée de l'obus sous inclinaison de 20° environ		9.000m			
Perforation normale, à bout portant; projectile de rupture traverse muraille en bois de 84cm avec plaques de		56cm		74cm	

Affûts pour canon de 34cm

- de batterie (Poids = 40.500kg ou 34.500kg suivant le type.) — système Farcot à manœuvre hydraulique.
- à plate-forme tournante par l'hydraulique — La plate-forme peut aussi tourner à bras, au moyen d'un cabestan, terminé par un pignon qui engrène avec une couronne dentée de la plate-forme.

§ 311. Canon de 37cm :

	MODÈLE 75-79
Projectiles de combat. Boulet de rupture. Obus, acier	535kg
Poudre, charge de	248kg
Vitesse initiale	596m
Poids de la bouche à feu	76tx
Longueur d'âme (en calibres)	28,5
Perforation normale à bout portant; projectile de rupture traverse muraille en bois de 84cm, avec plaque de	84cm,5

§ 312. Canon de 42cm :

	MODÈLE 75
Projectiles de combat. Boulet de rupture. Obus, acier	780kg
Poudre, charge de	280kg
Vitesse initiale	530m
Poids de la bouche à feu	75tx,4
Longueur d'âme (en calibres)	22
Perforation normale à bout portant; projectile de rupture traverse muraille en bois de 84cm avec plaque de	85cm

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 313. Durée des canons Mles 1870 et 1875 :

27cm, Mle 70.	400 coups avec	charge de combat
24 id.	500	id.
19 id.	500	id.
14 (*) id.	2.000	id.
10 Mle 75.	1.000	id.

Dans ce nombre de coups, trois avec charge d'exercice comptent pour un avec charge de combat.

ARTILLERIE LÉGÈRE D'EMBARCATION ET DE DÉBARQUEMENT

§ 314. Canon de 90mm :

Projectiles de combat. .	Obus oblong, fonte ordinaire . . . / Obus à balles	8kg
Poudre, charge de.		1kg,640 C_2
Vitesse initiale.		455m
Pression à la culasse par centim. carré.		2.090kg
Longueur d'âme (en calibres).		22
Poids de la bouche à feu.		600kg
Portée de l'obus sous inclinaison de 26°.		7.000m

Affûts pour canon de 90mm :

- à pivot de l'avant. . . . (Poids = 1.227kg.) — Châssis en fer à 2 ou 4 roulettes, avec inclinaison de 4° de l'arrière à l'avant.
- à pivot central . . . . . (Poids = 1.311kg.) — Pour petits navires, les affûts sont à frein hydraulique et cylindre unique.
- pour embarcation . . . (Poids = 891kg.) — Châssis muni de 2 roues-rails; — plaque tournante au milieu de la voie; — cylindre hydraulique de même système que le précédent.

§ 315. Canon de 65mm :

Projectiles de combat. .	Obus, fonte ordinaire.	2kg,700
	Obus à balles (en essais).	
	Mitrailles.	2kg,870
Poudre, charge de.		0kg,410 C_2
Vitesse initiale, obus fonte		346m
Id. moyenne, mitrailles		275m
Pression à la culasse par centim. carré		
Longueur d'âme (en calibres).		15
Poids de la bouche à feu		95kg
Portée de l'obus sous une inclinaison de 28°		5.000m

Perforation; traverse à toute distance une tôle d'acier (Thornycroft) de 6mm. A 4.000m, 20cm de bois de chêne.

Affût pour débarquement. . (Poids = 129kg.) — Les coffres pleins pèsent chacun 62kg,500. Ils contiennent : 10 obus, 4 boîtes à mitraille, 14 charges de 0kg,410 et 4 charges réduites pour tir plongeant.

(*) A la suite des expériences de 1882, le nombre de coups a été fixé à 3.000.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 316. **Canon-revolver de 37^{mm} :**

Projectiles de combat.	Obus, fonte ordinaire	0^{kg},455
	Obus, acier (en expérience)	
	Mitraille	0^{kg},611
Poudre, charge de		0^{kg},080 RS
Vitesse initiale		402^{m}
Longueur d'âme (en calibres)		20
Poids de la bouche à feu		204^{kg}
Portée de l'obus sous inclinaison de 10°		2.500^{m}

Perforation de l'obus ; à bout portant, tir normal, traverse une tôle d'acier de 24^{mm} ; à 3.000^{m}, une tôle d'acier de 6^{mm} ; à 4.000^{m}, épaisseur de bois de 10^{cm}.
A mitraille à 100^{m}, les balles traversent franchement 25^{cm} de bois de sapin.
Affût à chandelier. (Poids = 100^{kg}.)

§ 317. **Canon-revolver de 47^{mm} :**

Projectiles de combat, obus en fonte	1^{kg},100
Poids de la bouche à feu	500^{kg}

ARTILLERIE DE CÔTE.

§ 318. **Canons M^{le} 1864 T 1870 (calibres de 19, 24, 27^{cm}).** — On transforme les canons modèle 1864 au modèle 1870 pour la défense des côtes, en alésant l'âme et en y introduisant un tube long.

Cette transformation doit comprendre les calibres de 19, 24 et 27^{cm}. Ces canons sont dénommés M^{le} 1864 T 1870.

La durée des canons de 27^{cm} M^{le} 1864 T 1870 a été provisoirement fixée à 120 coups, charge de combat ; et celle des canons de 19^{cm} à 400.

		CANONS DE 19^{cm}	CANONS DE 24^{cm}	CANONS DE 27^{cm}
Tir avec le projectile de rupture.	Poids de la charge	23^{kg}	41^{kg},5	57^{kg}
	Espèce de poudre	W $\frac{25}{30}$	W $\frac{25}{30}$	W $\frac{30}{38}$
	Vitesse initiale	500^{m}	485^{m}	470^{m}
	Pression moyenne par centim. carré	2.451^{kg}	2.472^{kg}	2.480^{kg}
Tir à obus	Poids de la charge	21^{kg}	35^{kg}	50^{kg}
	Espèce de poudre	W $\frac{25}{30}$	W $\frac{25}{30}$	W $\frac{30}{38}$
	Vitesse initiale	503^{m}	475^{m}	470^{m}
	Pression moyenne par centim. carré	1.949^{kg}	1.798^{kg}	1.940^{kg}

Affût à châssis, avec pivot de l'avant ou central pour toutes les pièces.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 319. **Canon de 32^{cm}** :

		MODÈLES 70	70 M	70-79 (en construction)
Projectiles de combat	Boulet de rupture	345^{kg}	345^{kg}	
	Obus, acier			
	Obus, fonte ordinaire	286^{kg},5	286^{kg},5	
Poudre	Project. de rupture, charge de	68^{kg},5 W $\frac{25}{30}$	89^{kg} W $\frac{30}{38}$ ou 78^{kg} AS $\frac{30}{40}$	120^{kg} à 130^{kg}
	Obus			
Vitesse initiale	Projectile de 345^{kg}	439^{m}	480^{m}	560^{m} (probable)
	Obus de 286^{kg}	475^{m}	486^{m}	
Pression à la culasse par centim. carré	Projectile de 345^{kg}	2.200^{kg}	2.500^{kg}	
	Obus	2.050^{kg}	1.900^{kg}	
Longueur d'âme (en calibres)		19	19	
Poids de la bouche à feu		39.000^{kg}	39.000^{kg}	42.000^{kg}
Portée de l'obus sous inclinaison de 35°		11.060^{m}	11.800^{m}	»
Perforation normale à bout portant ; projectile de rupture traverse une muraille en bois de 84^{cm} avec plaques de		44^{cm},2	50^{cm}	»

Affût à châssis à pivot avant muni d'une petite circulaire, ou à pivot central.

§ 320. **Mortiers** (en essais) :

	CALIBRES 24^{cm}	30^{cm}
Projectiles, obus fonte dure	120^{kg}	220^{kg}
Charge maximum prévue	10^{kg}	18^{kg}
Longueur d'âme (en calibres)	10,16	9,29
Poids de la bouche à feu	5.955^{kg}	10.764^{kg}
Charge de poudre minimum pour obtenir le forcement	5^{kg}	
Dans ces conditions on a pour portée sous inclinaison de 40°	3.700^{m}	
Perforation à toute distance des ponts cuirassés à	6 et 7^{cm}	9^{cm}

Affût à châssis avec frein hydraulique en tôle ; — galets de relèvement ; — secteur denté pour pointage en hauteur ; — châssis en fer incliné de 4°, pourvu du même mécanisme de pointage en direction que les affûts de 16^{cm} à châssis tournant. — Le châssis, à sa partie antérieure, s'appuie et roule sur une couronne de galets, qui roulent eux-mêmes sur une sellette entourant le pivot ; à l'arrière, il est supporté par deux galets fixes, qui roulent sur la circulaire arrière. Enfin, le milieu du châssis est muni d'un coin à vis, réglé de manière à laisser 5^{mm} de jeu entre ce coin et la circulaire au-dessus de laquelle il se déplace. Ce jeu permet le pointage latéral ; mais il est assez faible pour que le châssis, en fléchissant dans le tir, puisse s'appuyer sur la circulaire centrale.

ARTILLERIE DU DÉPARTEMENT DE LA GUERRE

§ 321. **Récapitulation des divers canons employés.** — A titre de renseignements, nous mentionnerons les bouches à feu M^{le} 1876, adoptées par le département de la Guerre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les canons sont uniformément désignés par leur calibre, exprimé en millimètres.

Ils sont en acier et se chargent par la culasse ; obturateur mobile ; inflammation centrale.

Les rayures sont nombreuses et peu profondes, à pas progressif.

Les projectiles sont munis à l'arrière d'une ceinture de cuivre.

La série des pièces comprend :

Les canons de 80 et 90^{mm}, de campagne ;
Le canon de 95^{mm} dit de réserve ;
Le canon de 80^{mm} de montagne ;
Le canon de 120^{mm} de siége ;
Le canon de 155^{mm} de siége et de place.

Ces bouches à feu doivent lancer des obus à double paroi et à balles ainsi que des boîtes à mitraille.

Les canons de 120^{mm} et de 155^{mm} lanceront aussi des boulets massifs ou des obus en fonte dure.

Un canon de 220^{mm} ; des mortiers rayés en acier de 220^{mm}, et de 270^{mm} se chargeant par la culasse, sont à l'étude.

L'artillerie de terre emploie encore, pour l'armement des places, des canons de 14, 16, 19 et 24^{cm} M^{le} 1858 et 1864 du département de la Marine ; et, pour l'armement des côtes, l'obusier de 22^{cm} rayé, qu'elle a pourvu d'un obus en fonte dure et d'un obus à balles.

Elle a fait construire également des canons de 19 et 24^{cm} M^{le} 1870, différant des canons correspondants de la Marine par le mode d'obturation, la fermeture de culasse et par les formes du projectile. Enfin, elle possède quelques canons en acier de 24^{cm} ; et elle a adopté sans changement le canon de 27^{cm} M^{le} 1870 de la Marine avec ses diverses munitions.

ARTILLERIES NAVALES ÉTRANGÈRES

§ 322. **Allemagne.** — La marine allemande emploie des canons Krupp se chargeant par la culasse, à inflammation centrale ; le calibre le plus élevé est de 30^{cm},5.

On vient d'adopter pour la mise de feu un appareil désigné sous le nom *d'étoupille à vis ;* il se compose d'un cylindre,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans lequel joue un percuteur actionné par un ressort à boudin et une détente. Ce cylindre se visse dans la lumière ; il porte à son extrémité, dans un logement *ad hoc*, un étui composé de deux parties vissées ensemble ; l'une contient l'étoupille, l'autre une broche qui reçoit le choc du percuteur et le transmet à l'étoupille.

Les rayures des canons allemands sont héliçoïdales, multiples, cunéiformes et progressives.

Le montage des projectiles est analogue au nôtre. On semble avoir renoncé à la chemise en plomb. L'artillerie de la marine abandonne les projectiles de rupture en fonte dure pour ceux en acier. Les poudres employées sont très lentes et se classent en deux catégories différant par la densité : la plus dense réservée aux gros calibres, la moins dense aux calibres inférieurs.

Des canons nouveaux de 8, 7, 15 et 24^{cm} ont été construits chez Krupp. L'augmentation dans la longueur et le poids des projectiles ainsi que dans la longueur de l'âme, sont à remarquer particulièrement dans cette nouvelle artillerie.

Les boulets et les obus de rupture de la marine française pèsent environ 2,8 fois le poids du boulet rond massif du calibre, ce boulet étant supposé en fonte ordinaire. Dans les expériences entreprises en Allemagne, le poids de l'obus de rupture a souvent dépassé 4 fois celui du boulet rond ; ce qui entraîne une diminution dans la vitesse et une augmentation dans les pressions. Ainsi les vitesses initiales mesurées n'ont pas dépassé 465^{m}, tandis que les pressions ont atteint quelquefois 2.700^{kg} par centimètre carré.

Artillerie de côte. — En général, les canons de côte ont le même calibre que ceux de la flotte, mais présentent plus de longueur.

Les derniers canons construits par Krupp, pour l'armement des côtes, ont 40^{cm} et 35^{cm}. Le 28^{cm} forme la base de l'armement des côtes ; le 26^{cm} est réservé pour la flotte. Ces deux canons ont sensiblement la même puissance offensive.

Les affûts de côte sont à châssis en fer, et presque tous munis de freins hydrauliques.

§ 323. **Angleterre**. — L'artillerie de la marine anglaise comprend des canons destinés à agir contre les cuirassés, des canons qui ne tirent qu'à obus, comme notre 14^{cm}, enfin une artillerie légère pour embarcations et débarquement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les canons actuellement en service sont : pour les petits calibres, des canons Armstrong, à rayures multiples et projectiles recouverts d'un manchon en plomb ; pour les gros calibres, des canons dits *de Woolwich*, se chargeant par la bouche et comportant notre système de rayures.

Sir W. Armstrong ne fournit plus à la marine anglaise ; désormais, les puissantes bouches à feu qui sortiront de Woolwich se chargeront par la culasse, et présenteront notre système de fermeture avec les derniers perfectionnements réalisés : rayures multiples agissant comme dans notre modèle 1870, chambre spacieuse.

On *chambre* toutes les pièces en service, même celles du plus gros calibre, pour augmenter leur puissance de perforation. Comme les canons de gros calibre se chargent par la bouche, on a dû imaginer des gargousses à expansion pour leur donner un diamètre en rapport avec celui de la chambre. Ces gargousses, confectionnées d'abord avec un diamètre inférieur au calibre, sont susceptibles de se raccourcir en s'élargissant à leur arrivée dans la chambre.

Les *projectiles* comprennent :

Boulets et obus Palliser en fonte dure ;
Obus en fonte ordinaire ;
Shrapnell (obus à balles) ;
Boîtes à mitraille pour canons Woolwich et Armstrong ;
Obus à segments et à double paroi, pour les canons Armstrong.

Le poids de ces différents projectiles est sensiblement égal à 2,6 celui du boulet rond pour tous les calibres, excepté pour celui de 10 pouces, dans lequel le rapport est de 3. Le poids de la boîte à mitraille est à peu près égal à celui du boulet rond.

Les projectiles Palliser sont en fonte ; leur ogive est coulée en coquille, comme nos boulets de fonte dure ; et leur partie cylindrique dans un moule ordinaire en sable. Leur pointe est trempée très énergiquement. Les boulets présentent à l'arrière un vide intérieur, dans le but d'améliorer les qualités balistiques en augmentant la longueur sans faire varier le poids.

Les projectiles sont pourvus de tenons en bronze, disposés comme ceux de notre modèle 1864, et munis de gaz-check.

On emploie pour les obus des fusées à percussion et à temps,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

excepté pour les obus Palliser, que le choc suffit à faire éclater.

Les charges de poudre se divisent en : charge de combat pour les Palliser ; charge entière pour les obus ordinaires et autres projectiles ; et enfin charge réduite, dans les canons de 9^{p} et au-dessous, pour lancer le shrapnell et la boîte à mitraille.

Les calibres et les poids des canons rayés de Woolwich se chargeant par la bouche, et actuellement en service, s'échelonnent de 7^{p} et 6^{tx},5 (mise en service en 1865), jusqu'à 16^{p} et 80^{tx} (mise en service en 1878).

Les vitesses initiales varient de 400 à 490^{m} ; le canon de 38^{tx} a une vitesse de 442^{m} ; celui de 80^{tx} a 489^{m}.

Les plus puissants calibres de ce système sont le 12^{p} 1/2 (31^{cm},7) pesant 38^{tx} (1875) ; et le 16^{p} (40^{cm}) pesant 80^{tx} (1878). Leurs projectiles traversent en tir normal et à bout portant : le premier une muraille cuirassée de 40^{cm} ; le second une muraille cuirassée de 77^{cm},5.

L'approvisionnement en poudres et en projectiles varie dans la marine anglaise avec le genre d'affût sur lequel est monté le canon ; il comporte 170 coups pour les pièces de tourelle ou les pièces montées sur affût à double circulaire ; 105 coups pour les canons de chasse, et 85 coups pour les canons de bordée. Les canons d'embarcation et de débarquement reçoivent 170 coups chacun.

Les nouvelles bouches à feu (en achèvement ou en expériences à Woolwich) sont en acier et se chargent, comme nous l'avons dit, par la culasse. Le calibre le plus élevé que nous connaissions dans cette nouvelle artillerie est le 12^{p} pesant 43^{tx}, dont le projectile de 324^{kg} traverse à bout portant 69^{cm} de cuirasse.

La mitrailleuse *Palmerantz-Nordenfeldt* est entrée en service courant concurremment avec trois modèles de mitrailleuses Gobling.

Artillerie de côte. — Le gouvernement anglais a acheté à Armstrong quatre canons de 100^{tx} destinés à Malte et Gibraltar. Il a aussi mis en expériences, pour le service des côtes, des obusiers rayés de 9 et 10^{p} (22^{cm},9 et 25^{cm},4), se chargeant par la bouche et présentant une longueur d'âme de 6 calibres ; ce sont de véritables mortiers.

§ 324. **Autriche**. — Les canons de gros calibres de l'Au-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

triche sont de Krupp et d'Armstrong (ceux-ci ne sont plus utilisés que pour l'armement des vieux navires). Les Krupp sont des canons-culasse ; le calibre le plus élevé en usage est le 28cm.

L'Autriche construit elle-même les canons de petit et de moyen calibre, en bronze-acier, à l'arsenal de Vienne. Les résultats satisfaisants donnés par des canons Uchatius de 15cm ont décidé les Autrichiens à employer le bronze-acier pour les gros calibres La fonderie de Vienne prépare des canons de 24 et 28cm.

La poudre est fabriquée à la poudrerie de Stein, près Laybach.

Artillerie de côte. — Ce matériel d'artillerie comprend, comme celui de la flotte, des canons-culasse et des canons à bouche. Ceux-ci sont abandonnés en principe.

§ 325. **Italie**. — L'armement principal de la flotte est constitué par des canons Armstrong se chargeant par la bouche ; l'artillerie légère (7cm,5 et 12cm,5) se charge par la culasse.

Le canon de 100 tonnes, qui fait partie de l'armement du *Duilio*, lance un projectile de 917kg à la charge de 119kg,5 avec une vitesse initiale de 500m environ. Ce projectile est un obus Palliser à ogive très effilée. Il ne présente sur sa surface cylindrique aucune saillie. Le gaz-check détermine seul son mouvement de rotation.

Les cuirassés *Italia* et *Lepanto* portent des canons de 100t Armstrong de 43cm, se chargeant indifféremment par la bouche ou la culasse (système français).

Le canon de 12cm en acier est d'un système de construction exactement semblable à notre 10cm.

Le canon en bronze rayé de 7cm,5 est pareil aux canons de campagne prussiens.

L'affût automatique Albini est employé depuis 1874 dans les embarcations et à bord des petits navires.

Les mitrailleuses en service sont du système Montigny ; c'est une arme médiocre destinée à disparaître ; on fait à cet effet des expériences comparatives entre le Hotchkiss et la mitrailleuse Nordenfeldt.

Artillerie de côte. — Contrairement à ce qui a lieu chez la plupart des grandes puissances maritimes, on a adopté, en Italie, pour les bouches à feu de gros calibre destinées à la défense des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

côtes, un système d'artillerie différent de celui qui sert à l'armement de la flotte.

On emploie pour les côtes des canons en fonte frettée de 16, 24, 32 et 45^{cm}, ainsi que des canons-obusiers de 22^{cm}. Les canons de 16 et l'obusier de 22^{cm} se chargent par la bouche; les trois autres calibres par la culasse.

Le canon de 45^{cm} (100^{tx}) a été construit à la fonderie de Turin; les frettes en acier viennent du Creusot. Cette pièce lance un obus de rupture de 1000^{kg}, un obus ordinaire et un Shrapnell. Elle a été expérimentée en 1882, et les résultats ont été assez remarquables. La vitesse initiale du projectile de rupture était de 460^{m}. La poudre employée venait de Fossano. La charge (220^{kg}) était renfermée dans plusieurs gargousses en toile de chanvre, contenant de 50 à 60^{kg} seulement, afin d'en faciliter la manœuvre; et le feu était mis directement par la lumière à l'arrière de la gargousse.

Les canons de côte sont aujourd'hui, à l'exception des petits calibres, presque tous portés par des affûts à châssis en fer et à frein hydraulique.

§ 326. **Espagne.** — On fait usage de canons *Armstrong* pour les gros calibres et petits calibres, canons Parrot jusqu'en 1880.

Le système d'artillerie récemment adopté comprend des canons de 20^{cm} en fonte (système Rodman), renforcés à l'intérieur par deux tubes courts superposés avec la tension initiale convenable. Le tube intérieur est en acier fondu, martelé et trempé à l'huile : tandis que le tube extérieur est en acier puddlé, et formé de barres enroulées en spirales.

Les canons nouveau modèle se chargent par la culasse (système vis-culasse). Projectiles à ceinture.

L'artillerie de campagne est constituée par des canons-culasse Krupp et des canons bronze-acier (culasse et bouche) fondus à Séville.

La poudre provient des poudreries de Murcie et de Grenade.

Artillerie de côte. — Elle comprend des canons-bouche rayés, en bronze et fonte frettée, ainsi qu'un canon de 24^{cm} exactement semblable à notre canon de 24^{cm} M^{le} 1864.

§ 327. **Portugal.** — Le *Vasco de Gama*, cuirassé portugais,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

a dans son réduit deux canons *Krupp* de 26cm court, et en chasse un canon Krupp de 15cm sur affût Armstrong.

§ 328. **Danemark.** — Le Danemark possède des canons *Armstrong* de 10p (25cm,4) sur le cuirassé *Odin* ; des canons Krupp de 26 et 30cm sur le cuirassé *Héligoland*.

Les bouches à feu de petit calibre sont construites à la fonderie de l'État ou dans les fonderies privées.

La poudre est à grains cubiques.

Artillerie de côte. — Les canons de côte de fort calibre se chargent par la culasse (fermeture française), et sont semblables à notre modèle 1870. Leur corps est en fonte et provient de l'usine suédoise de Finspong.

§ 329. **Hollande.** — L'armement comporte des canons Armstrong ; le calibre le plus élevé est celui de 10p (28cm). Il existe également un Krupp de même calibre.

Les fonderies de La Haye et d'Amsterdam fabriquent les canons de campagne.

Les poudres de guerre proviennent de la poudrerie de Deft.

Artillerie de côte. — On a adopté pour l'armement des côtes les canons du système français Mle 1864-1866 (calibre de 24cm).

§ 330. **Russie.** — Les bouches à feu qui arment les navires russes sont du système Krupp, avec quelques modifications dans le frettage, qui a été prolongé jusqu'à la bouche pour éviter les éclatements de volée. Les canons russes ont ainsi, à calibre égal, un poids plus élevé que les canons Krupp ordinaires. Les rayures sont paraboliques. Les projectiles sont à ceintures, comme les nôtres ; ils comprennent : des obus de rupture en acier et fonte dure, des obus ordinaires, des mitrailles pour les petits calibres. Les poudres sont prismatiques, comme chez les Allemands ; mais à calibre égal, le poids de charge est inférieur à celui qui est adopté pour les canons allemands.

On a aussi construit deux canons de 9p (23cm) ; le tube en acier, présentant 2/10 de calibre, est renforcé à la partie postérieure par des frettes en acier qui ont 3/10 de calibre ; et par-dessus les frettes se trouvent des manchons de fonte sans serrage.

Il y a lieu de citer dans l'artillerie russe les canons de 8p

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(20^{cm},3) et le canon de montagne, tous deux démontables, afin de faciliter le transport ; les deux ou trois parties formant le canon se vissent l'une sur l'autre.

La mitrailleuse Palmerantz-Nordenfeldt est également employée.

Artillerie de côte. — Les canons de côte sont du même système que ceux de la flotte.

Les principaux forts maritimes sont armés, comme les tourelles de navires cuirassés, avec du 28 et du 30^{cm} à trois rangs de frettes. On emploie concurremment avec ces bouches à feu des mortiers rayés de 24 et 28^{cm} en acier présentant 6 à 8 calibres de longueur, et se chargeant par la culasse (fermeture à coin).

§ 331. **Suède.** — La supériorité bien connue des fontes suédoises a permis d'étendre avec succès l'usage de ce métal économique jusqu'aux plus petits canons de campagne.

Les bouches à feu de la marine sont pareilles aux nôtres (M^{le} 1864), tant pour le système de rayures que pour la fermeture de culasse. Le plus fort calibre employé est le 27^{cm}.

La marine suédoise emploie aussi quelques canons lisses de 26 et 38^{cm} du modèle américain.

La mitrailleuse Palmerantz-Nordenfeldt, connue sous le nom de mitrailleuse suédoise, est en service à bord des navires.

Artillerie de côte. — Nos canons de 24 et 27^{cm} M^{le} 1870, à rayures multiples et projectiles à ceintures, ont été adoptés, ainsi que les canons de 20^{cm} en acier Bessemer. On rencontre encore dans les forts suédois une bouche à feu lisse créée spécialement pour perforer les cuirasses. C'est un canon-bouche en fonte de 28^{cm},6.

§ 332. **Norwège.** — La marine norwégienne emploie les canons Armstrong (bouche) de 20, 22 et 27^{cm} ; des canons Palliser (corps en fonte avec tube intérieur en fer forgé) de 16 et 17^{cm} ; des canons Krupp (culasse) de 15 et 26^{cm} ; enfin la mitrailleuse Palmerantz-Nordenfeldt.

§ 333. **Grèce.** — Sur les deux cuirassés grecs *Olga* et *Roi-George*, l'artillerie est constituée par des canons Armstrong de 9 et 10^{p} (22^{cm},9 et 27^{cm},9).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 334. **Turquie**. — Cette nation commence à abandonner les canons Armstrong pour ceux de Krupp. Elle n'a cependant encore sur les cuirassés que des canons Armstrong, dont le plus fort calibre est 9p (25cm).

Les canons de campagne sont du système Krupp.

Artillerie de côte. — Les canons de côte de 23 et 27cm en acier, et ceux en bronze de calibres inférieurs, sont du système Krupp.

§ 335. **États-Unis**. — Les Américains poussent activement la transformation de leurs canons lisses en pièces rayées se chargeant par la culasse. Le mode de fermeture est semblable au nôtre.

Cette transformation s'exécute par le procédé Palliser, qui consiste à introduire dans l'âme un tube en fer forgé ou en acier. Le calibre du canon est ainsi notablement diminué ; mais la puissance et la durée sont augmentées dans une proportion considérable.

Les canons-bouche rayés du système Parrot sont aussi transformés en canons-culasse (système français).

Les gros canons rayés sont désignés par leur calibre en pouces, et les petits par le poids de leur boulet exprimé en livres.

La mitrailleuse *Gathing* à 10 canons est en service à bord des navires.

Artillerie de côte. — L'armement des côtes est analogue à celui de la flotte.

§ 336. **Brésil**. — Le Brésil a adopté le système Whitworth pour l'armement de sa flotte.

Les canons Witworth lancent des obus de rupture, des obus ordinaires, des Shrapnell et des boîtes à mitraille.

Les obus de rupture sont en acier comprimé liquide, coulés pleins ; et leur chambre est forée au tour. Ils ont exactement la forme de l'âme avec un diamètre légèrement inférieur. Les projectiles sont guidés dans le canon par leurs parois extérieures qui s'appuient sur les parois de l'âme. Ils n'ont ni ceintures ni tenons directeurs. Leur longueur est considérable, de 4 à 6 calibres ; et la grande inclinaison des rayures assure leur stabilité dans l'air et au choc. Leur poids atteint 4 et même 6 fois celui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du boulet rond. Un gaz-check en carton avec rebord en cuivre, fixé au culot du projectile, supprime le vent.

La grande capacité de la chambre des obus leur permet de porter une charge considérable. Elle varie de 10 à 20^{kg}.

Les canons Whitworth brésiliens sont montés sur des affûts Armstrong, soit avec châssis et freins à lames, soit avec frein et appareil de manœuvre hydrauliques.

§ 337. **Chili**. — Le Chili emploie l'artillerie Armstrong.

§ 338. **Chine**. — Les Chinois arment leurs navires avec des bouches à feu de divers systèmes (Krupp, Armstrong, Vavasseur). Quelques canons en fonte et à âme lisse ont été fabriqués à l'arsenal de Fou-tcheou.

§ 339. **Japon**. — Le système Krupp domine sur les cuirassés japonais, où l'on rencontre aussi quelques canons Armstrong et Vavasseur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

QUATRIÈME PARTIE[1]

HYDRAULIQUES

DE MANŒUVRE POUR LES GROS CANONS

4E PIE. — CHAPITRE I

PRINCIPES COMMUNS ET PRODUCTION DE LA PRESSION

§ 340. **Considérations générales.** — Les canons employés autrefois pour la marine étaient manœuvrés facilement à bras d'hommes : on se servait de palans pour le pointage en direction, pour la mise en batterie et au recul, et d'anspects pour le pointage en hauteur. Le frottement des échantignoles sur le pont suffisait pour modérer le recul au moment du tir.

L'accroissement progressif des calibres, et par suite du poids des pièces et des projectiles, ainsi que l'augmentation de la force de la charge, ont fini par rendre impossible l'emploi direct de la force musculaire. Le manque d'espace venant encore entraver les manœuvres d'ensemble, on fut conduit à utiliser cette force par l'intermédiaire de mécanismes, tels que manivelles, engrenages, vis sans fin, crémaillères, etc. Les freins à lames furent dès lors adoptés comme modérateurs du recul. Mais ils devinrent

(1) Nous avons consulté pour cette partie de notre ouvrage un excellent travail de M. F. Calvière, officier mécanicien, ainsi que de nombreux documents qui nous ont été fournis par l'usine *Farcot* et par les *Forges et Chantiers de la Méditerranée*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

eux-mêmes insuffisants ; et l'on finit par avoir recours aux freins hydrauliques.

La force musculaire transmise mécaniquement est encore employée aujourd'hui, nous l'avons vu, pour les pièces de petit calibre ; mais elle est impuissante pour les canons des gardes-côtes et des grands cuirassés.

La première idée qui se présenta fut naturellement d'utiliser la vapeur ; et plusieurs essais furent faits pour l'employer directement, à l'aide d'une machine spéciale manœuvrant une tour mobile qui renfermait les canons.

On a bientôt reconnu que la vapeur, à cause de son élasticité, n'offrait pas les conditions d'instantanéité exigées pour la précision du pointage. En outre, les appareils étant souvent placés à une grande distance du générateur, et le conduit présentant des coudes nombreux, il se produisait dans le tuyautage des variations de pression qui causaient de grandes irrégularités dans la marche du mécanisme. Ajoutons encore le danger auquel sont exposés les servants par la rupture d'un tuyau de vapeur pendant le combat.

On a donc été amené à chercher un intermédiaire entre le moteur et le récepteur, et c'est l'eau qui a été choisie. A cause de sa très faible compressibilité, elle transmet intégralement à l'extrémité d'une longue conduite les différences de pression auxquelles elle est soumise ; et elle ne présente aucun danger.

L'eau est refoulée par un appareil spécial nommé *machine de pompage*. Son action est régularisée par un accumulateur, dans lequel elle passe avant d'être envoyée à la conduite de distribution.

A bord de quelques navires, l'accumulateur est un cylindre muni d'un piston plongeur, qui est chassé par la pression de l'eau et soulève un poids. Dans d'autres installations, le piston comprime un ressort. La réaction agissant au moment où la dépense d'eau se produit, entretient la pression constante.

Dans les appareils plus récents, MM. Farcot ont remplacé le poids et les ressorts par la pression antagoniste de la vapeur des chaudières. Celle-ci est amenée sur l'une des faces d'un piston, présentant un diamètre plus grand que celui de l'accumulateur et qui est lié invariablement à ce dernier. Cet appareil prend alors le nom d'*accumulateur-multiplicateur*, parce que la tension de la vapeur sur le grand piston se trouve multipliée par le rapport

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des sections des deux pistons pour produire la pression hydraulique.

Un appareil automatique relie l'accumulateur à la machine à vapeur, de façon à régler la marche du moteur sur la dépense d'eau. La pression ne subissant que quelques oscillations très légères, reste ainsi à peu près constante dans tout le tuyautage de la distribution d'eau.

En sortant de l'accumulateur, l'eau est répartie entre les différents appareils hydrauliques, auxquels elle est distribuée par des tiroirs selon l'emploi qu'on veut en faire. L'ouverture d'un registre détermine instantanément l'action, et sa fermeture l'arrête. Les effets de marteau d'eau qui à ce moment pourraient se produire dans le tuyautage, sont combattus par des soupapes de choc et des freins automatiques.

Les appareils hydrauliques employés pour produire du mouvement par la pression de l'eau affectent des dispositions variables suivant les effets qu'on veut obtenir. Ce sont des presses à simple ou à double effet, des presses mouflées, ou des presses à télescope.

Dans les premières, l'eau agit sur un piston plongeur dont la tête est directement fixée à la pièce qu'on doit mouvoir ; le poids même des organes fait rentrer le piston dans le cylindre lorsqu'on ouvre à l'évacuation.

Dans les presses à double effet, l'eau exerce son action sur les deux faces d'un piston dont la tige est fixée à la pièce commandée.

Dans les presses mouflées, le fond du cylindre et la tête du piston sont munis d'un certain nombre de réas, sur lesquels passe une chaîne qui fait dormant sur le cylindre, tandis que le courant est maillé sur l'organe à mouvoir.

Les presses à télescope sont à double ou à simple effet. Elles consistent en un certain nombre de pistons formés de tubes concentriques se déployant à la façon d'une longue-vue.

En tous cas, l'eau sous pression est utilisée non seulement pour la manœuvre des canons mêmes, mais encore pour produire la rotation des plate-formes qui les supportent ou des tours mobiles qui les renferment.

Les projectiles ayant pris depuis quelques années des proportions considérables, ne sont plus manœuvrés par de simples palans ; et c'est encore à l'hydraulique que l'on s'est adressé pour résoudre la question. Les projectiles et les gargousses sont élevés hors

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des soutes au moyen de monte-charges hydrauliques, qui viennent les présenter à la culasse de la pièce.

L'opération du refoulement se fait avec des appareils mus d'une façon semblable ; et l'écouvillonage lui-même est opéré par la pression de l'eau. Enfin cette force est encore utilisée pour manœuvrer la culasse mobile de quelques pièces de fort calibre.

Tous ces appareils exigent l'emploi de certains organes de sécurité qui en assurent le fonctionnement automatique ; et, dans bien des cas, l'eau sert encore à cet usage.

On est arrivé ainsi à mettre en mouvement avec la plus grande précision les masses énormes qui constituent les tours mobiles, les plaques tournantes et les bouches à feu, et à opérer avec sécurité le chargement et le pointage par la simple manœuvre de quelques leviers disposés dans le poste de chargement.

§ 341. **Programme**. — Avant de passer à la description des appareils hydrauliques en usage, nous allons exposer, en quelques mots, le programme qu'ils ont à remplir :

Dès qu'une pièce a fait feu, elle est mise au recul extrême, et la culasse est amenée le plus bas possible.

Les munitions sont contenues dans deux soutes séparées. La charge comporte un projectile et une ou deux demi-gargousses, suivant l'effet qu'on veut obtenir. Le tout est amené dans un monte-charge à trois compartiments, présentant une inclinaison telle que la charge vienne se présenter dans l'axe de la pièce.

Au moment voulu, le monte-charge se met en mouvement avec une vitesse progressive qui va ensuite en diminuant ; et il s'arrête automatiquement à la position correspondant au chargement du projectile. Le refouloir, qui a été préalablement orienté dans la direction de la pièce, est mis en marche hydrauliquement par un levier de commande ; et le projectile est enfoncé dans son logement. Cette opération terminée, le refouloir rentre, et le monte-charge continue son ascension jusqu'à ce que la première demi-gargousse soit en position de refoulement. La manœuvre exécutée pour le projectile se répète pour chaque demi-gargousse.

Quand le monte-charge est arrivé au bout de sa course, son tiroir est mis à l'évacuation ; et il peut redescendre.

Il faut que chaque opération commence automatiquement au moment précis où celle qui précède vient de finir. Enfin chacun

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des organes doit arriver à bout de course avec une vitesse modérée pour éviter les chocs. Ces conditions peuvent être résumées ainsi :

1° Le monte-charge est immobilisé tant que la pièce n'a pas été fixée dans sa position de chargement ; et la pièce devient elle-même immobile dès que l'ascension du monte-charge commence.

2° Le monte-charge ne monte pas tant que le refouloir n'a pas été orienté dans la direction de la pièce ; et cette orientation ne peut changer dès que le monte-charge commence son ascension.

3° Le monte-charge est arrêté automatiquement à chaque position de chargement, et le refouloir ne sort que quand cet arrêt a eu lieu. La rentrée du refouloir délivre le monte-charge, qui monte alors jusqu'à la position suivante de chargement.

4° Le monte-charge est immobile pendant toute la durée de chaque refoulement.

5° A la fin du refoulement, chaque organe reprend la position qu'il avait au début.

6° Quand les opérations du chargement sont terminées, la pièce redevient libre ; elle peut être mise en batterie et pointée.

Le programme, comme on le voit, est fort complexe ; et les dispositions qui ont été imaginées pour résoudre ce problème varient de mille façons ; elles dépendent de l'aménagement du navire, de la dimension des pièces et de l'emplacement qu'elles occupent.

Nous nous bornerons à indiquer les installations les plus récentes ou celles qui offrent quelque particularité digne d'être signalée. Du reste le principe général reste toujours le même, et les différences ne portent guère que sur des détails de construction.

MACHINE DE POMPAGE

La machine de pompage est destinée à produire l'eau sous pression nécessaire au fonctionnement des appareils hydrauliques. Elle se compose de trois parties distinctes : le moteur, la pompe et l'accumulateur. Elle est représentée planche XII, figure 5.

§ 342. **Moteur.** — Le moteur est une machine horizontale à trois cylindres attelés au même arbre, et dont les manivelles sont calées à 120°. Les têtes de bielle des cylindres extrêmes sont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

articulées sur des tourteaux clavetés à l'arbre de couche et servant de volants. Le moteur est muni d'un régulateur à force centrifuge r, destiné à l'empêcher de s'emporter en cas d'avaries dans le tuyautage de refoulement.

§ 343. **Pompe.** — La pompe est à trois cylindres ; et les pistons sont conduits par les contre-tiges des pistons à vapeur. Les cylindres sont garnis intérieurement de chemises en bronze. Les pistons sont en bronze, et ne comportent qu'un seul cuir embouti formant un U dont la concavité est tournée du côté de la tige.

La tige de chaque piston ayant une section égale à la moitié de celle du piston même, le système est différentiel ou à refoulement constant. En effet, lorsque le piston marche vers la droite, le volume d'eau aspiré est égal à celui engendré par le piston. Quand il revient vers la gauche, cette eau est refoulée à travers le clapet 2 ; la moitié pénètre dans le corps de pompe sur la face droite du piston, et l'autre moitié se rend dans le tuyau N de refoulement, à travers le clapet 3. Quand le piston se meut de nouveau vers la droite, l'eau introduite dans la pompe sur la face droite du piston est également refoulée dans le tuyau N. La pompe est donc à simple effet pour l'aspiration et à double effet pour le refoulement. Cette disposition a pour but d'égaliser le travail pendant les deux courses.

Le réservoir Ba est à un niveau plus élevé que les pompes, afin que l'eau arrive naturellement sous le clapet d'aspiration, et pour éviter ainsi toute introduction d'air.

Sur le conduit collecteur N de refoulement des trois pompes se trouve la soupape de sûreté ou de trop plein 4, destinée à prévenir une trop forte pression d'eau dans ce conduit ainsi que sous le piston de l'accumulateur. Elle est chargée à 60^{kg} par des ressorts Belleville. Sur le même conduit est placé le clapet de retenue 5, qui empêche le retour d'eau de l'accumulateur au tuyau de refoulement N.

Chacune des soupapes 1, 2, 3, 5 est munie d'un petit ressort à boudin logé dans le couvercle, et qui, appuyant sur la tête de la tige, assure la chute du clapet. Le logement est mis en communication avec l'eau sous pression par une petite lumière. Chaque couvercle porte aussi un robinet de purge d'air.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La boîte de distribution contient une soupape 6 chargée à environ 50^{kg} à l'aide de ressorts Wolfrang ; cette soupape est soulevée par l'eau sous pression lorsqu'on dévisse la tige indépendante qui la tient appuyée sur son siège. La pression minimum de l'eau arrivant aux appareils hydrauliques est donc de 50^{kg} par centimètre carré.

§ 344. **Accumulateur-multiplicateur**. — L'accumulateur-multiplicateur est constitué par l'ensemble des deux pistons P′ et P′$_1$. Le piston plongeur P′ est en fonte garnie d'une chemise de bronze. Le piston P′$_1$-est formé de deux parties : la portion supérieure porte une garniture suédoise, tandis que celle d'en bas forme un presse-étoupe, dont la garniture est comprimée au moyen des boulons réunissant entre elles les deux parties.

La face supérieure du piston P′$_1$ est, pendant le fonctionnement, en communication constante avec la vapeur de la chaudière, et sa face annulaire inférieure avec l'atmosphère. Le piston P′ ayant toujours sa face inférieure en communication avec l'eau refoulée par les pompes, est constamment poussé de bas en haut.

Les sections de ces deux pistons sont dans le rapport de 1 à 13,32 (13,75 dans les anciens appareils) ; de sorte qu'une pression effective de 4^{kg} par centimètre carré sur le grand piston produit 53^{kg},28 sous le petit. Le poids des pièces porte la pression à 60^{kg}.

La boîte à tiroir X contient trois compartiments x, x', x'' ; x et x'' sont fermés chacun par un tiroir 16 et 17 que l'on manœuvre à la main avec les volants x_1 x_1''. Quant au tiroir 18, placé dans le compartiment x', il est manœuvré automatiquement par la tige 19 fixée au piston P$_1$′. Lorsque la machine est en fonction, les tiroirs 16 et 17 sont ouverts en grand. Dans ces conditions, la vapeur arrivant de la chaudière par le tuyau 8, traverse librement la boîte du tiroir, et se rend au moteur par le tuyau 9. A mesure que les pistons P′ et P$_1$′ s'élèvent sous l'effet de l'eau refoulée, le tiroir 18, actionné par sa tige 19″, se referme peu à peu ; et son orifice est fermé quand les pistons sont en haut de leur course. A ce moment la machine stope.

Lorsque les appareils hydrauliques de l'artillerie fonctionnent, une certaine quantité d'eau s'échappe de l'accumulateur par la soupape 6 et le tuyau 12 ; les pistons P′ et P$_1$′ descendent, le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tiroir 18 démasque peu à peu son orifice, et la machine se remet en marche pour remplacer l'eau sortie de l'accumulateur.

§ 345. **Fonctionnement.** — Les deux tiroirs 16 et 17 étant fermés, la vapeur, qui arrive par la tuyau 8, est admise directement dans le moteur par l'ouverture du robinet de mise en marche 11′.

L'eau est refoulée au réservoir Bα par le tuyau de la soupape de trop plein 4, qui se soulève lorsque la pression atteint 60^{kg}. On peut à ce moment desserrer la soupape de distribution 6.

On ouvre en même temps les tiroirs 16 et 17. La vapeur afflue sur le grand piston de l'accumulateur, qui, se trouvant à son haut de course, tient fermé le tiroir registre 18. Si l'on ferme le robinet 11′, la vapeur cesse d'arriver au moteur qui stope.

A mesure que l'eau sous pression sera dépensée par les appareils hydrauliques de l'artillerie, le piston P′ descendra ; mais, en même temps, le tiroir 18 s'ouvrant graduellement, le moteur se remettra en marche, et le piston P_1' se soulèvera jusqu'au moment où le registre 18 sera de nouveau fermé.

Pendant tout le fonctionnement des appareils, la pression sera maintenue par petites oscillations à peu près à 60^{kg}, à la condition que la pression de 4^{kg} soit conservée exactement aux chaudières.

La machine de pompage doit fournir, à la vitesse maximum de 35 tours, 725 litres par minute avec une pression de 60^{kg}.

Elle doit pouvoir fonctionner, ainsi que les appareils hydrauliques, à une pression de $3^{kg},45$ aux chaudières, pour tenir compte de l'usure de celles-ci.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

4E PIE. — CHAPITRE II

DISPOSITIONS POUR TOURELLE BARBETTE ET RÉDUIT CENTRAL

HYDRAULIQUES DU « TONNANT » ET DE « L'AMIRAL DUPERRÉ ». — PLATE-FORME TOURNANTE AVEC CHARGEMENT AU REBORD. — CANON DE 34cm. — TOURELLE BARBETTE. — TYPE FARCOT.

§ 346. — **Dispositions générales**. — La manœuvre des pièces de 34cm, à bord du garde-côte le *Tonnant* et du cuirassé l'*Amiral Duperré*, comporte des presses hydrauliques simples pour le pointage en hauteur et la mise en batterie et au recul, puis des presses mouflées pour le pointage en direction ainsi que pour le fonctionnement du monte-charge et du refouloir. Ces dispositions sont représentées Pl. XIII.

Les pièces sont placées une à une dans des tourelles barbettes cuirassées à 35cm, et surmontées d'une carapace en acier de 5cm d'épaisseur destinée à protéger les servants et le mécanisme contre le feu des hunes ennemies. Le puits de chargement seul est cuirassé en tôle d'acier entre la tour et le pont blindé.

Chaque canon C (fig. 1 et 2), avec son affût et son châssis, est posé sur une plate-forme tournante P supportée par une couronne de galets g. Ceux-ci roulent entre deux circulaires; celle du haut c' est fixée à la plate-forme, et celle du bas c'' à la tour.

La plate-forme est maintenue dans le sens horizontal par le pivot en tôle p faisant corps avec la tour. Deux cercles en bronze b, b' sont adaptés au pivot et à la plate-forme pour adoucir les frottements

Une agrafe a fixée à l'AV de la plate-forme est toujours accrochée à un rail circulaire r, et la maintient au moment du tir. Les deux flasques de l'affût portent aussi une agrafe, passant sous la nervure de la glissière du châssis.

Lorsqu'on n'est pas sous pression, la pièce peut être manœuvrée

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en direction au moyen du petit cabestan C′, dont la rotation est transmise par l'intermédiaire des pignons p', p'', p''' à la roue dentée R fixée à la plate-forme.

Pour manœuvrer la pièce en hauteur, et pour la mise en batterie et au recul, on se sert d'une petite pompe à bras placée à gauche sur la plate-forme (elle n'est pas représentée sur la figure). Elle prend l'eau dans un réservoir r' de la plate-forme, et refoule dans la boîte à tiroir commune des presses. Il n'y a qu'à manœuvrer préalablement deux robinets placés sur le tuyau d'arrivée d'eau à la tour et sur l'aspiration de la petite pompe.

§ 347. **Distribution de l'eau**. — L'eau refoulée par la machine de pompage arrive au bas de chacun des puits par un tuyau de conduite générale g' (fig. 2), qui circule à tribord du navire.

Elle pénètre dans une boîte dite de distribution d, d'où elle est répartie aux divers appareils de la pièce correspondante. Le tuyau m la conduit au tiroir du monte-charge, le tuyau r'' à celui du refouloir, le tuyau p' au tiroir du pointage en direction ; enfin le tuyau t, qui présente un plus grand diamètre, la conduit à la tourelle pour les presses de pointage en hauteur et de mise en batterie. Ce tuyau t s'élève dans le puits, traverse en b'' (fig. 1) le blindage en tôle d'acier du puits de chargement, et arrive dans la partie inférieure du pivot de la plate-forme au joint articulé R′.

Après avoir traversé ce joint, que nous décrirons plus tard, l'eau se rend par le tuyau t' aux tiroirs de pointage en hauteur et de mise en batterie dont les boîtes sont réunies.

Les presses de la plate-forme évacuent l'eau sous pression dans le réservoir r', qui fait corps avec la plate-forme, et dont l'orifice de déversement est placé vers le haut afin qu'il reste toujours à peu près plein d'eau. Nous en verrons plus loin la raison. Le tuyau t'' conduit le trop plein de ce réservoir au joint articulé. De là, l'eau s'écoule par le tuyau t''' à la boîte de retour d'eau B_1 (fig. 2), placée au fond du puits, à babord, symétriquement à celle de distribution d.

Cette boîte de retour d'eau reçoit également l'eau des presses de pointage en direction par le tuyau p_1''', l'eau du monte-charge par m', celle du refouloir par r''', et celle de la petite presse de manœuvre des projectiles par le tuyau m''. Plusieurs soupapes de choc sont disposées sur la conduite générale d'eau sous pres-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sion ainsi qu'en s sur la boîte d ; elles déversent leurs eaux dans le tuyau général de retour d'eau e, qui relie la boîte de retour d'eau B_1 au réservoir de la machine de pompage.

La boîte de retour d'eau est munie d'une soupape atmosphérique s'.

§ 348. **Joint articulé.** — Le joint articulé R′ (fig. 1, 3 et 6) se compose de deux parties : la portion mobile, fixée sous le fond de la presse de pointage en hauteur P′, tourne avec la plate-forme. C'est un cylindre creux, divisé suivant son axe par une cloison en deux compartiments 11 et 12 ; dans l'un débouche le tuyau t' allant aux presses de la plate-forme, et dans l'autre arrive le conduit t'' de déversement du réservoir r'.

A des hauteurs différentes, chacun de ces compartiments est percé d'une fenêtre 13 ou 14, qui dans la rotation demeure toujours en communication avec un vide annulaire de la partie fixe ; dans l'un de ces vides aboutit le tuyau t d'arrivée d'eau, dans l'autre le tuyau t''' de retour d'eau. Des cuirs en U isolent les diverses parties entre elles et avec l'extérieur.

§ 349. **Pointage en direction.** — Il s'opère au moyen de deux palans hydrauliques P″, P‴, placés verticalement au fond du puits (fig. 2).

Le courant de la chaîne de droite a' passe sur la poulie f, située au haut du puits, s'enroule sur la gorge g'_1 de la plate-forme de droite à gauche, et se maille à gauche. La chaîne a'' de gauche s'enroule en sens inverse, et se maille à droite en une position symétrique à celle de la première.

Les deux presses ont un tiroir unique ; car l'une évacue pendant que l'autre reçoit l'eau sous pression. Le piston de la presse qui introduit, entraîne en sens inverse de celui qui évacue.

Sur le pivot de la plate-forme est enfilée une roue conique dentée A, appelée *couronne d'asservissement*. Elle roule, comme la plate-forme, sur des galets g'' ; elle est maintenue en hauteur par quatre galets e fixes, et dans le sens horizontal par d'autres galets e', portés par le cercle intérieur des galets de support.

A gauche est maillée sur un piton K une chaîne K′, qui, passant sur une poulie fixe p^{IV}, descend le long du puits, et va se fixer par l'autre extrémité à l'un des bras de l'arbre du tiroir des presses P″ et P‴. Un contrepoids K‴ a pour but de maintenir cette chaîne toujours tendue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A droite, sur un piton symétrique de la couronne d'asservissement, est fixée une seconde chaîne d', terminée par un contrepoids d'', qui doit faire équilibre au premier et à la chaîne, afin que la couronne puisse être manœuvrée aussi facilement dans un sens que dans l'autre.

A gauche de la pièce, sur la plate-forme, se trouve un volant V, dont l'axe est terminé par un pignon v qui engrène avec la couronne d'asservissement.

Manœuvre. — Supposons qu'on veuille faire pivoter la plate-forme de gauche à droite. Tournons le volant dans le même sens ; la couronne d'asservissement se déplacera d'un certain angle, le contrepoids K''' descendra, entraînant le tiroir : l'introduction aura lieu dans la presse de droite, et l'évacuation dans celle de gauche. La plate-forme tournera donc de gauche à droite dans le même sens que le volant. Son mouvement sera d'autant plus rapide que par le volant on aura plus ou moins ouvert le tiroir.

Le volant ayant été abandonné à lui-même, son pignon roulera librement sur la couronne d'asservissement, qui restera immobile avec l'ensemble des renvois de mouvement au tiroir.

Pour accélérer ou ralentir le mouvement de la plate-forme, on n'a qu'à accélérer ou ralentir à la main le mouvement du volant ; car on règle ainsi à volonté l'ouverture de l'orifice d'introduction.

Chaque fois qu'on abandonne le volant, la plate-forme continue à se mouvoir uniformément.

Si l'on veut arrêter la plate-forme, on n'a qu'à poser la main sur le volant de façon à l'immobiliser. Le pignon, rendu fixe par rapport à la plate-forme, entraînera alors la couronne d'asservissement, qui, tirant sur la chaîne K', ramènera le tiroir à demi course ; la plate-forme cessera tout mouvement, l'introduction d'eau dans la presse de droite n'ayant plus lieu.

Pour renverser la marche, il faut tourner le volant en sens inverse.

On voit ainsi que le mouvement de la plate-forme est parfaitement identique à celui du volant de manœuvre.

La boîte à tiroir est munie d'un robinet de purge (non représenté) et de deux soupapes de choc v', v'' en cuir, pour prévenir les avaries qui pourraient se produire dans les conduits par la manœuvre brusque du tiroir. Il existe aussi une soupape atmosphérique v''' dans l'orifice d'évacuation.

L'arrêt automatique de la plate-forme aux positions extrêmes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de pointage est produit au moyen de la tringle h guidée par les supports j, j', et portant deux dés j'', j''', dont on peut faire varier la position suivant l'amplitude qu'on veut obtenir; contre ces dés l'oreille j^{iv}, fixée à la tête du piston de la presse P″, vient buter aux extrémités de course. A ce moment, par une série de renvois de mouvement l qui la relient au tiroir, la tringle h ramène cet organe à sa demi-course; et tout mouvement cesse.

Les presses P″ et P‴ sont munies de deux robinets de purge: l'un à la partie supérieure, pour laisser échapper l'air au début de la marche, et l'autre à la partie inférieure, pour vider l'eau après le fonctionnement.

§ 350. **Mise en batterie et au recul**. — Elle s'opère au moyen de deux presses P^{iv} (fig. 4) fixées aux côtés du châssis. La tête du piston est boulonnée à une oreille O portée par l'entretoise de l'affût.

Un seul tiroir suffit pour les deux presses, les tuyaux d'introduction sur chaque face du piston se bifurquant en o' et o''.

Les presses sont à double effet, et n'ont qu'une seule purge, à cause de la disposition particulière du tiroir, qui, pour la mise en batterie, introduit sur les deux faces du piston. Ces deux faces peuvent être mises en communication par le tuyau h'; ce dernier est fermé par la soupape s'', maintenue sur son siége au moyen d'un ressort à boudin qui cède quand cette communication est établie.

Pour la mise en batterie on manœuvre le levier de gauche à droite; le tiroir ouvre l'orifice i', mais ne ferme pas l'orifice i''. L'eau est donc introduite sur les deux faces du piston par les tuyaux i''', i^{iv}; mais la pièce va en batterie, eu égard à la différence des sections des deux faces du piston causée par la présence de la tige, et en raison de l'inclinaison du châssis vers l'AV.

L'eau, poussée par la face AV du piston, retourne à la boîte à tiroir; et le choc est supporté par la soupape de choc S (fig. 3) de la conduite t de la tourelle.

Pour la mise au recul, le levier est manœuvré de droite à gauche. L'introduction se produit sur la face AV du piston; et l'eau chassée par la face arrière s'écoule par le tuyau i^v (fig. 4) au réservoir r'.

Le levier parcourt une graduation indiquant le sens et le degré d'ouverture du tiroir. Pour le feu, repaire indiqué, le tiroir est un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

peu ouvert à l'introduction sur les deux faces. C'est la position de la figure. Cette légère ouverture a pour but de compenser les pertes dues aux fuites ; car les presses servent aussi de freins hydrauliques pendant le tir.

Au moment où la pièce fait feu, une partie de l'eau chassée par la face R du piston passe dans le tuyau de communication h', soulève la petite soupape s'', et vient combler le vide laissé derrière la face V. L'autre partie s'échappe par les soupapes s''', s^{iv}, et se déverse dans le réservoir r'.

Les ressorts de ces soupapes sont réglés de façon à laisser un recul de 1^m à $1^m,20$ avec la grande charge. Le recul total permis par le châssis est de $1^m,60$.

La boîte à tiroir est munie d'un robinet de purge (non représenté).

Remarquons que nous n'avons pas figuré le tuyau d'arrivée d'eau sous pression, les deux boîtes à tiroir du pointage en hauteur et de la mise en batterie communiquant du côté de l'arrivée d'eau.

§ 351. **Pointage en hauteur.** — Cette opération se fait au moyen d'une presse simple à double effet P′ (fig. 3).

La tête du piston est articulée à une pièce en fer forgé B, nommée *bras de pointage*, oscillant autour du point fixe b'''.

Le sabot S′ du bras de pointage, qui embrasse la double nervure à T de ce dernier, est articulée à l'oreille de la frette supplémentaire F du canon.

La section de la tige du piston représente la moitié de celle du piston, le poids de la pièce aidant à la descente.

Le levier de manœuvre du tiroir est placé à côté de celui de la mise en batterie, et court également sur un arc gradué.

Il suffit de manœuvrer le tiroir pour introduire l'eau sous pression sur une face du piston et évacuer l'autre au réservoir, comme on peut s'en rendre compte par l'inspection de la figure.

§ 352. **Reniflard.** — Tous les tuyaux afférents à la presse P′ (fig. 3) traversent une boîte en bronze à compartiments appelée *reniflard* (dont nous avons un peu changé la forme pour la démonstration).

Cet appareil contient quatre compartiments, dans lesquels passent : l'arrivée d'eau t' à la tourelle, l'évacuation n''' de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

boîte à tiroir au réservoir r', les communications n', n'' de la boîte à tiroir aux deux bouts de la presse de pointage en hauteur.

Pendant les manœuvres du pointage, les trois soupapes s^{v}, s^{vi}, s^{vii} ayant toujours à supporter une pression supérieure à celle qui existe en dessous, restent collées sur leurs siéges, ainsi que la soupape s^{viii} de la glace du tiroir.

Au moment du tir, lorsqu'on dit que la pièce *saigne du nez*, la culasse se soulève brusquement pour retomber ensuite. Il se produit donc sur chaque face du piston une aspiration et un refoulement brusques qui pourraient amener des avaries dans le tuyautage. Le reniflard a pour but d'éviter ces accidents.

Au moment de l'aspiration du bas, la soupape s^{v} se soulève et laisse arriver l'eau du réservoir par le tuyau n''' d'évacuation. Lors de l'aspiration du haut, c'est la soupape s^{vi} qui remplit le même office. Pour le refoulement du bas, la soupape de choc s^{viii} de la boîte à tiroir se soulève ; pour le refoulement du haut, c'est la soupape s^{vii}. Dans ces deux derniers cas, l'excès d'eau qui arrive dans la boîte à tiroir s'évacue par la soupape de choc S de la conduite générale de la tour.

§ 353. **Monte-charge.** — Le monte-charge (fig. 5, vues 1 et 5) est une caisse en tôle M, contenant trois tubes en bronze q, q', q'', inclinés à 11 ou 12°, et destinés à recevoir les projectiles et les deux demi-gargousses. Chaque tube porte sur l'AR deux oreilles o''' servant d'arrêts.

De chaque côté se trouvent les glissières G, G′, guidées par les directrices D.

Sur la face droite est fixé le piton d''', auquel se maille la chaîne x du palan hydraulique. Cette chaîne monte au haut du puits sur une poulie de renvoi, et redescend ensuite au fond, où se trouve la presse X.

Le monte-charge porte une nervure sinueuse, formée par des cornières en saillie, et qu'on nomme *labyrinthe*. Sur l'arrière sont disposés trois taquets d'arrêt M″, M‴, M^{iv} ; enfin, à la partie inférieure est une butée x''. Le tiroir T est manœuvré à l'aide d'un volant V′ placé sur la face gauche du puits et monté sur l'axe du pignon Z ; ce dernier engrène avec un secteur denté Z′, sur l'axe duquel est monté un levier à deux branches r_1, r'_1 ; sur l'une de ces branches est articulée la bielle B′ qui manœuvre le tiroir.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le même volant conduit les secteurs Z′ du monte-charge et Z″ du refouloir. Il suffit pour cela de le faire marcher un peu dans le sens de son axe, les deux secteurs n'étant pas dans le même plan ; il faut tirer en avant pour engrener le pignon avec le secteur du monte-charge, et pousser en arrière pour l'engrener avec celui du refouloir.

Un contre poids B‴ fait équilibre au poids de la bielle B′.

La presse X est à simple effet ; et la boite à tiroir est munie d'une soupape de choc S″, ainsi que d'un robinet de purge et d'une soupape atmosphérique v_1''' sur l'orifice d'évacuation.

Nous verrons plus tard comment le monte-charge arrive sans choc en haut du puits ; au bas, il vient reposer sur un coussin en bois.

Pour prévenir le choc, la conduite d'eau du tiroir à la presse traverse une boite en bronze r_2', dans laquelle un petit piston r_1'' vient étrangler l'évacuation lorsque le monte-charge n'a plus qu'environ 20^{cm} à parcourir. Ce piston est poussé par l'oreille r_1''' de la tête du piston de la presse, qui bute contre le taquet r_1^{iv} du petit piston, ce qui forme frein automatique.

§ 354. **Refouloir**. — Il se compose (fig. 1 et 5) d'un disque en bronze articulé M′, qui vient appuyer contre la charge à refouler ; il comporte en outre 8 galets simples en bois m''', m'''..., un galet double en fonte f', et un contrepoids f''. Ces pièces sont reliées entre elles par des bielles en fer.

Le refouloir est placé dans une gaine verticale en tôle, qui lui sert de guide et qui est placée à l'arrière du puits ; la partie supérieure est recourbée, afin que le refouloir sorte de sa gaine suivant l'inclinaison des tubes du monte-charge. Il est actionné par un palan hydraulique. La presse X′ à simple effet (fig. 5, vue 4) est placée au fond du puits. Son garant x''_1 monte dans le puits, vient se capeler sur une poulie de renvoi A′ (fig. 1) et descend se mailler sur la branche horizontale de l'équerre du refouloir V'_1 (fig. 5, vue 4) ; il passe dans une gaine en tôle, où pénètrent les différents leviers de sécurité $A_1A'_1$, LL′, L^{iv}.

Le tiroir, comme nous l'avons déjà dit, est manœuvré à l'aide du même volant que le monte-charge, par l'intermédiaire du secteur denté Z″ ; sur l'axe de ce dernier est monté le levier à deux branches D′D″. L'une des branches commande le tiroir par l'in-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

termédiaire de la bielle E, qui se termine par une chaine E′ maillée sur l'un des bras de l'arbre du tiroir.

Un contrepoids E″ (vue 4) ramène toujours le tiroir à sa position inférieure chaque fois qu'on abandonne le levier à lui-même.

La boîte à tiroir porte une soupape de choc S‴ et un robinet de purge.

§ 355. **Appareils de sécurité de chargement.** — Le verrou F_1 (fig. 5, vue 1) est spécialement chargé d'arrêter le monte-charge à ses différentes positions de chargement; il se meut horizontalement dans des glissières en bronze fixées au bâtis. Un ressort à boudin tend à le pousser toujours d'AV en AR. Le verrou porte sur sa face intérieure un tourillon, sur lequel est monté un galet-fou I, qui, en venant s'engager dans les cornières du labyrinthe, arrête le monte-charge aux points voulus.

Le verrou sert encore à étrangler l'arrivée d'eau sous pression dans la presse du monte-charge, et à maintenir son tiroir légèrement ouvert à la montée quand il arrive presque à bout de course. Pour cela, il porte, du côté opposé au galet fou, deux butées d'inégale saillie H, H′; entre eux, peut osciller le levier r_1 r'_1, dont les deux branches ne sont pas dans le même plan vertical. A la grande branche qui se trouve sur l'avant et en même temps la plus rapprochée du verrou, est articulée la bielle commandant le tiroir du monte-charge. Dans le mouvement en avant du verrou, la première butée H′, qui est courte, passe sans rencontrer la petite branche, puis rencontre la grande et la force à s'abaisser. A ce moment, la seconde butée H, grâce à une saillie suffisante, rencontre la petite branche et l'empêche de passer: le levier est alors calé des deux côtés.

Le contre-verrou F′, dont le mouvement est lié dans une certaine mesure à celui du verrou F_1, sert surtout à assurer le fonctionnement du refouloir ; c'est une forte pièce rectangulaire verticale toujours poussée de bas en haut par la petite presse I′. Il est muni sur sa face supérieure d'un adent destiné à s'engager sous un adent correspondant du verrou. Il arrête ainsi le verrou dans sa marche en arrière; et il est lui-même arrêté par le verrou dans son ascension, suivant les différentes phases du mouvement.

Sur sa face interne, le contre-verrou porte en haut une butée g''', qui, appuyant sur le levier D′ de manœuvre, empêche l'introduction à la presse du monte-charge lorsque le contre-verrou

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est à sa position inférieure. Plus bas, sur la même face, le contre-verrou porte un levier à trois branches T′ chargé de l'ouverture et de la fermeture du tiroir du refouloir. La branche supérieure l'' vient buter sous le levier D′ du refouloir, et s'oppose, lorsqu'il y a lieu, à la fermeture de l'introduction. A la branche du milieu l''' est articulée une bielle B'''_1, qui descend le long du puits.

Le levier $A_1A'_1$ (vue 4) sert à limiter la course du refouloir dans le premier refoulement destiné au projectile. Il oscille autour d'un axe horizontal parallèle à celui de la pièce. Une de ses branches est sur le passage de l'équerre V'_1 du refouloir; l'autre est engagée entre les flasques de la bielle B'''_1 du levier à trois branches, et bute contre les entretoises de cette bielle.

Le levier LL′ est disposé de façon à ne pas rencontrer l'équerre V'_1 du refouloir la première fois que celui-ci monte, et à le rencontrer la seconde et la troisième fois. Son axe est porté par l'extrémité d'un levier à bascule L″ L‴, de telle sorte qu'il se rapproche ou s'éloigne du chemin suivi par l'équerre du refouloir suivant que le levier à bascule est ou non abattu. La branche L‴ de ce dernier porte un contrepoids qui le maintient dans la position de la figure, tant que la chaîne l^{iv} n'agit pas. Le levier LL′ est destiné à limiter la course du refouloir pour le refoulement des deux demi-gargousses.

Le levier L^{iv} du *bas du puits* sert d'intermédiaire entre le refouloir et le contre-verrou au moyen de la bielle B'''_1, qui le relie au levier à trois branches T′. Il comporte un contre-poids L^v, dit *à moment variable*, qui, équilibrant le poids des pièces, tend à lui faire occuper la position horizontale aussitôt qu'il est laissé libre.

Ces trois leviers sont collés contre la face Æ du puits. La vue 4 de la figure 5 les montre en élévation pour la facilité de la démonstration.

§ 356. **Immobilisation de la plate-forme et du bras de pointage.** — Le verrou de la plate-forme V″ (fig. 5, vue 1), est destiné à immobiliser celle-ci pendant le chargement. Il est commandé par un levier à deux branches Y″ Y‴ oscillant autour d'un axe horizontal; la grande branche, qui porte un contrepoids Y′, est engagée entre les deux lattes de la bielle B′ du monte-charge; l'autre branche entraîne le verrou. Ce dernier est horizontal, et pénètre dans une gâche de la plate-forme qui ne se trouve vis-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à-vis du verrou que quand la pièce est bien en direction. Si l'on ouvre le tiroir du monte-charge, la grande branche du levier est butée par une entretoise de la bielle B'_1, et elle se relève. Ce mouvement n'est possible qu'autant que le verrou peut lui-même avancer, c'est-à-dire qu'il se trouve en face de sa gâche. Le contrepoids, dès qu'il est rendu libre, relève le verrou.

Afin qu'on puisse au besoin fermer le tiroir sans s'exposer à ce que le canon bouge, la plate-bande Y (vue 5), placée sur le côté gauche du monte-charge M, vient s'engager derrière un butoir v^{IV} (vue 1) du verrou, et l'empêche de sortir de sa gâche tant que le monte-charge n'est pas descendu dans le puits. A ce moment, le tiroir de M étant ouvert à l'évacuation, le contrepoids Y′ ramène le verrou en arrière et délivre la plate-forme.

Pour immobiliser la pièce dans le sens vertical pendant la durée du chargement, on a recours au verrou y'. Ce verrou est manœuvré par le verrou V″ de la plate-forme, qui, lorsqu'il pénètre dans sa gâche, repousse la tringle F'_1 à ressort de rappel ; celle-ci, par l'intermédiaire du mouvement à sonnette $h''h'''$ (vues 2 et 3), engage le verrou y' dans l'œil V''_1 du bras de pointage.

Le mouvement à sonnette ne peut manœuvrer ainsi que quand le sabot S′ venant appuyer sur la tige T″, la partie carrée de cette tige descend dans une partie évasée de la douille et lui permet de tourner. D'ailleurs, un ressort de rappel y'' tend à relever la tige dès que le verrou y' est dégagé.

La pièce est maintenue de droite et de gauche, ainsi que de l'avant et de l'arrière, par les adents A″, auxquels vient s'encastrer le sabot S′ du bras de pointage.

§ 357. **Fonctionnement**. — Supposons le monte-charge en bas du puits dans la chambre de manœuvre des projectiles.

Une caisse à poudre est amenée de la soute par un chariot C″ roulant sur des rails (fig. 5, vue 5).

Les demi-gargousses sont poussées à la main dans les tubes correspondants q', q'' du monte-charge.

Le projectile est transporté, dans une lanterne avec levier à crochet I‴, par une grue à bras composée d'un palan différentiel pendu à un chariot. Ce dernier se meut de babord à tribord sur deux rails aériens, qui sont susceptibles de se déplacer parallèlement à eux-mêmes de l'AV à l'AR. Déposé par terre à la place du chariot de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

caisse à poudre, il est repris par le courant C‴ d'un palan hydraulique qui élève le projectile et la lanterne, comme l'indique la figure.

La pièce est en même temps mise au recul et la culasse baissée par la manœuvre des deux leviers de mise en batterie et de pointage en hauteur. Au moyen du volant de direction, elle a dû être amenée dans l'axe du navire, où la plate-forme est maintenue à l'aide d'un verrou supplémentaire commandé à la main, que nous n'avons pas représenté, et qui se trouve à portée du servant du puits chargé de manœuvrer le volant du monte-charge et du refouloir.

La pièce est en position de chargement. Le sabot S′ (fig. 5, vue 1) du bras de pointage est engagé dans l'adent A″, qui l'empêcherait d'aller en batterie si l'on manœuvrait par inadvertance son levier. La tige T″ en s'abaissant comprime le ressort y'', ce qui rend possible la manœuvre du verrou du bras de pointage.

Les deux servants de la culasse, après l'avoir ouverte, y placent un tube en tôle T‴, dit *tube-planchette de chargement*, destiné à protéger les filets de la culasse.

Au commandement de *chargez*, le servant du puits tire à lui le volant de manœuvre, pour s'assurer que son pignon Z engrène bien avec le secteur Z′ du monte-charge. D'ailleurs, s'il se trouvait engrèné avec le secteur du refouloir, il ne pourrait pas manœuvrer le tiroir de ce dernier ; car le contre-verrou F′ étant, au début de l'exercice, à sa position inférieure, et le verrou F_1 à la position extrême arrière, la butée g''' appuie sur le bras D′ et s'oppose à son mouvement de bas en haut.

Le servant, agissant sur le volant pour la montée du monte-charge, ouvre le tiroir à l'introduction par l'intermédiaire du pignon Z, du secteur Z′, du levier $r_1 r'_1$ (que la butée du verrou laisse libre), et enfin de la bielle B′. La presse X, tirant sur sa chaîne produit l'ascension du monte-charge M.

La bielle B′, actionnée de bas en haut pour l'ouverture du tiroir, soulève la branche Y″ du levier Y″ Y‴. Le verrou de plate-forme V″ s'introduit dans sa gâche. Ce verrou, poussant sur la tringle F'_1, pousse le verrou y' dans l'œil du bras de pointage.

En même temps, la plate-bande verticale du monte-charge s'introduit derrière le talon v^{IV} du verrou V″, qui se trouve immobilisé jusqu'à ce que, le chargement étant terminé, le monte-charge soit descendu dans le puits.

Le verrou de sécurité F_1 étant, comme nous l'avons dit, à sa

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

position extrême ÆR, le galet fou I attenant à ce verrou, se trouvera rencontré par la nervure n^{IV} du monte-charge ; et il sera ramené en avant, entraînant avec lui le verrou. A ce moment, le talon du contre-verrou F′ s'engage sous l'adent du verrou, empêchant ce dernier de revenir en arrière. Le monte-charge continuant à monter, le galet fou passe sur la nervure n^{V} qui le pousse de plus en plus en avant, jusqu'à ce que le contre-verrou s'engage tout à fait derrière le verrou. Le galet ne pouvant revenir sur l'ÆR est rencontré par le premier T^{IV} des trois talons d'arrêt du monte-charge ; celui-ci s'arrête, ayant l'axe de son premier tube dans le prolongement de l'axe du canon.

Dans le mouvement du galet fou et du verrou de l'ÆR vers l'AV, la butée H′ du verrou est venue rabattre la branche r'_1 commandant le levier de manœuvre du tiroir du monte-charge ; l'introduction a été étranglée, et la vitesse ascentionnelle s'est modérée.

Un taquet H, se plaçant au-dessus de la branche r_1 du même levier, l'empêche de fermer complètement le tiroir. Le tiroir et ses renvois de mouvement sont alors dans la position de la vue 1, qu'ils garderont pendant tout le chargement.

Au commandement de *refoulez*, le servant du puits pousse le volant V′ pour engrener le pignon Z avec le secteur Z″ du refouloir. La manœuvre pour la montée de cet organe est devenue possible ; car la butée g''' du contre-verrou s'est élevée, comme on le voit, à sa position supérieure ; et le taquet M″ du monte charge n'empêche plus le mouvement de la branche D″ du levier D′D″.

Les taquets M‴, M′″, M^{IV} ont pour but d'empêcher la manœuvre du refouloir jusqu'au moment où le monte-charge est tout à fait en position de chargement, c'est-à-dire pendant le temps que le galet fou I met à être franchi de bas en haut par le labyrinthe du monte-charge.

Le monte-charge commençant son ascension, l'équerre V_1 (vue 4) du bas du refouloir rencontre le levier L^{IV}, qui soulève la bielle B''_1 par l'intermédiaire de l'entretoise 2. L'extrémité supérieure de cette bielle fait osciller le levier à trois branches T′ (vue 1) ; et la branche l'' s'introduisant sous le levier D′D″ de manœuvre du tiroir du monte-charge, complète l'ouverture en grand, qui est maintenue pendant toute la durée du refoulement, et assure le forcement du projectile dans la pièce.

En même temps l'entretoise 3 (vue 4) de la bielle B''_1 a relevé la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

branche A'_1 du levier $A_1A'_1$, et a introduit la branche A_1 sur le chemin de l'équerre V'_1 du bas du refouloir, qui la rencontre au moment où le projectile arrive à son poste dans la pièce. Le choc de l'équerre fait redescendre la bielle B'''_1; et le levier à trois branches T′ (vue 1) reprend sa position primitive, dégageant ainsi le levier D′ D″. Le tiroir du refouloir rappelé par le contre-poids E″ ferme à l'introduction et ouvre à l'évacuation; le refouloir, sous l'influence de son propre poids et du contre-poids f'' (vue 4) de son extrémité inférieure, commence sa descente. Le levier L^{IV} du bas du puits, qui a repris la position horizontale, est rencontré par l'équerre V'_1 (vue 1), qui le rabat complètement; et dans le haut la branche 4 du levier à trois branches T′ rencontrant la butée 5 du contre-verrou F′, entraîne ce dernier, qui dégage complètement le verrou de sécurité F_1. Ce dernier laissé libre marche vers l'ÆR poussé par son ressort de rappel. Le galet fou I, prenant position en conséquence, dégage le premier T^{IV} des trois talons d'arrêt; et le monte-charge reprend son ascension.

L'équerre V'_1 (vue 4) du bas du refouloir, ayant dépassé le levier L^{IV}, laisse libre le contre-verrou F′ (vue 1). Celui-ci, au moment où le galet fou aura été conduit en position convenable par la nervure, montera sous l'action de la petite presse I′, et se placera derrière le verrou F_1, qui sera immobilisé de nouveau. Le galet fou arrêtera le monte-charge quand il rencontrera le deuxième T^{V} des talons d'arrêt. C'est la position pour le deuxième refoulement ou refoulement de la première demi-gargousse.

Nous voyons sur la figure que, dans la position du monte-charge pour le premier refoulement, la butée x'' de sa partie inférieure est au contact avec le levier 6, mais n'agit pas encore sur lui. Le monte-charge s'étant élevé, a fait monter également le levier 6; une branche de ce dernier, par l'intermédiaire de la chaîne l^{IV}, relève le levier coudé L‴ (vue 4), et rapproche du chemin suivi par l'équerre V'_1 du refouloir l'axe du levier LL′, qui limitera la course refouloir pendant ce second refoulement, comme le levier AA′ l'a limité pour le premier.

Le servant du puits manœuvre de nouveau le volant pour refouler; et tout se passe comme dans le premier refoulement. La première demi-gargousse est laissée dans la pièce à la position que doit plus tard occuper la deuxième. Le troisième refoulement se fait lorsque le bas du labyrinthe est arrivé à la hauteur du galet fou I (vue 1);

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et les deux demi-gargousses sont alors poussées à leur poste.

Au moment où l'équerre V_1' (vue 4) du refouloir, après le troisième refoulement, rencontre le levier L^{IV} du bas du puits et dégage le contre-verrou F′, le galet fou (vue 1), n'étant plus retenu vers l'AR par la nervure 7 du labyrinthe, passe à sa position extrême à gauche. Les butoirs du verrou F_1 n'empêchant plus de manœuvrer le tiroir du monte-charge, le servant du puits tire à lui le volant pour engrener le pignon Z avec secteur Z′ ; et il manœuvre pour la descente en ouvrant le tiroir à l'évacuation. Le monte-charge commence sa descente. Le galet fou I laisse descendre le monte-charge, en passant entre la nervure 7 et les trois talons d'arrêt T^{IV}, T^{V}, T^{VI}. Le levier 6, laissé libre par la butée x'', reprend sa position de repos ainsi que le levier LL′. La plate-bande du monte-charge dégageant le taquet v^{IV} du verrou de plate-forme V″, ce dernier sort de sa gâche. Il laisse libre la tringle F_1', qui, poussée par son ressort de rappel, retire le verrou y' du bras de pointage.

Le galet fou I, saisi par la nervure 8 placée en haut du monte-charge, ramène le verrou F_1 en AV ; et le talon du contre-verrou F′ vient s'engager derrière le verrou, ramenant à la position horizontale le levier L^{IV} (vue 4) du fond du puits. Le verrou et le contre-verrou resteront dans cette position jusqu'à la charge suivante.

Le canon étant libre, on pourra lever la culasse et le mettre en batterie. La tige T″ (vue 1) obéissant alors au ressort de rappel y'', la partie carrée de la tige se logera dans la partie carrée de la douille ; de son côté la tringle F_1' entrant dans la gâche du verrou de plate-forme V″, empêchera l'introduction de celui-ci, et par suite la manœuvre du monte-charge tant que la pièce ne sera pas remise en position de chargement. Nous avons vu déjà que le refouloir ne peut être non plus manœuvré tant que le monte-charge n'est pas en haut et dans une position exacte de refoulement.

Remarquons que le verrou de sécurité F_1 et le contre-verrou F′ sont taillés en crémaillère sur un de leurs côtés ; avec cette crémaillère engrène un pignon pouvant être manœuvré à l'aide d'une clef. Il existe de même un robinet d'interruption sur le tuyau d'arrivée de l'eau sous pression à la petite presse I′ du contre-verrou F′. En fermant ce robinet et purgeant la presse, on laisse le contre-verrou au bas de course. Cela permet, lorsqu'on le veut, de faire monter le monte-charge et de le faire redescendre, sans refouler le galet fou franchi par tout le labyrinthe.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La même manœuvre du monte-charge peut aussi s'effectuer en maintenant, sans vider la presse, le contre-verrou au bas de course. Lorsqu'on veut, par exemple, étant sous pression, visiter le refouloir, on manœuvre le verrou à l'aide du pignon pour l'amener tout à fait à l'AV. Le contre-verrou montant par l'action de sa presse, se loge derrière le verrou et permet la manœuvre du refouloir seul.

HYDRAULIQUES DES CUIRASSÉS LE « COURBET » ET LA « DÉVASTATION ». — TYPE FARCOT. — CANONS DE 34cm EN RÉDUIT CENTRAL.

§ 358. **Châssis et affût.** — Les canons de 34cm du *Courbet* et de la *Dévastation*, placés en réduit, sont montés sur des affûts à châssis semblables, comme structure générale, aux affûts de batterie en service dans la Marine. Ils sont manœuvrés au moyen d'appareils hydrauliques pour le pointage en direction, ainsi que pour la mise en batterie et le chargement. Le pointage en hauteur s'opère à bras avec un arc denté. La Planche XIV donne la disposition des appareils.

Le châssis repose sur trois circulaires en bronze c, c', c'' (fig. 1). Sur les circulaires AV et AR roulent les galets g, g' du châssis ; sur celle du milieu c' glissent deux frotteurs boulonnés en dessous des poutrelles du châssis. Les galets AR g' sont seuls munis de nervures embrassant la circulaire.

L'affût repose sur le châssis par dix galets g'', g'',... (5 de chaque côté), dont la gorge coulisse sur une nervure de la glissière du châssis ; il est en outre maintenu par quatre agrafes en fer.

§ 359. **Pointage en hauteur.** — Il s'opère à bras par la manœuvre du volant v, dont le mouvement est transmis au secteur denté s par l'intermédiaire des pignons p, p'. Le secteur est adapté au tourillon correspondant, comme au § 277.

§ 360. **Pointage en direction.** — Le pointage en direction se fait au moyen de deux chaînes c''', c^{iv} (fig. 1, vue 2, et fig. 3), fixées à la partie arrière du châssis. Ces chaînes passant sur diverses poulies de renvoi r,..., r'..., vont s'enrouler sur les presses P, P', placées au-dessous du pont de la batterie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ces presses étant horizontales, il a fallu empêcher les chaînes de se lover en formant des coques, quand on manœuvre les châssis avec des palans de direction ; dans ce but on a relié entre elles les têtes des deux pistons. De cette façon, dans le cas qui nous occupe, lorsqu'un des pistons entre dans son cylindre sous l'action de sa chaîne entraînée par le châssis, l'autre piston, suivant son mouvement, sort de son cylindre et embraque le mou de l'autre chaîne.

Le tiroir T est manœuvré à l'aide d'un volant horizontal v' placé dans la batterie; son arbre vertical a traverse le pont et porte à son extrémité inférieure un pignon galle i, sur lequel s'enroule la chaîne h qui agit sur le levier k de l'arbre du tiroir. Les contrepoids w et w' maintiennent la tension de la chaîne.

Ces presses sont munies d'un frein automatique, absolument semblable à celui que nous avons décrit au § 349, et qui ramène le tiroir à la demi-course aux pointages extrêmes.

§ 361. **Mise en batterie et au recul.** — La mise en batterie et au recul s'opère absolument comme sur le *Tonnant* et l'*Amiral Duperré* (§ 350).

Le tiroir T′ (fig. 1 et 8) des presses, est placé sur le châssis à gauche de la pièce ; il reçoit l'eau sous pression par le tuyau t et évacue au réservoir auxiliaire R du châssis par le tuyau t'. L'arrivée d'eau sous pression au châssis, ainsi que le déversement du réservoir à celui de la machine de pompage, sont obtenus au moyen de deux joints ou raccords articulés a' et a''.

Le premier a', relié au patin de la cheville ouvrière d, est fixe. La noix (fig. 10, vue 1) est divisée en deux compartiments x, x' par la cloison verticale e : dans le premier x afflue par le tuyau u l'eau sous pression; et le deuxième x' est en communication constante avec le retour d'eau u'. Le boisseau qui enveloppe la noix possède deux évidements annulaires m et m', en communication constante avec l'un des compartiments de la noix par les fenêtres o et o' ; il tourne avec le châssis, entraîné en même temps que les tuyaux u'' et u''' (fig. 1), qui le relient au deuxième joint articulé a'' attenant au châssis.

Ce joint (fig. 10, vue 2) est absolument semblable au précédent ; et les mêmes lettres affectées d'un indice désignent des parties identiques. Le tuyau t''' amène audit joint le déversement du réservoir R ; et le tuyau t le relie à la boîte à tiroir T′ de la mise en batterie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 362. **Monte-charge.** — Le monte-charge M (fig 1 et 2) se compose d'une caisse en tôle contenant trois tubes en bronze b, b', b'', superposés, et inclinés pour le logement des projectiles et des deux demi-gargousses. A la partie supérieure se trouvent deux tampons en bois destinés à ouvrir les volets qui ferment le toit du puits de chargement au niveau de la batterie.

La caisse est supportée par une colonne cylindrique creuse f mobile autour d'un axe d' qui est placé à la partie inférieure, et fixé au balancier e'_1, aux extrémités duquel sont maillées les deux chaînes j et j'. Ces chaînes vont, en passant sur les poulies de renvoi $q, \ldots, q' \ldots$, s'enrouler sur la presse P'' du monte-charge. Cette presse est munie d'un frein automatique f' représenté en détail fig. 2, vue 3.

Le monte-charge et sa colonne portent des cornières h formant glissières, et embrassant des directrices. La colonne est munie en outre des trois butées h', h'', h''', qui arrêtent le monte-charge dans les trois positions de chargement.

Le tiroir T'' (fig. 7, vue 4) du monte-charge est placé dans la boite quintuple Q, dont nous parlerons plus loin ; et il est manœuvré à l'aide du levier l introduit dans la douille i'''.

§ 363. **Manipulations dans la soute.** — Les projectiles sont amenés à l'aide d'un pont roulant qui porte un chariot muni d'un palan différentiel. Ils sont déposés sur un tabouret R' (fig. 2, vue 1), placé en face du monte-charge à sa position inférieure. Là le projectile repose sur une plaque tournante ayant l'inclinaison voulue pour qu'on puisse le refouler dans le tube supérieur b.

Pour introduire les demi-gargousses, on fait pivoter le monte-charge sur son axe d' ; et l'on pousse à la main les demi-gargousses, dont la caisse a été hissée en face du monte-charge à l'aide d'un palan. Un taquet contre lequel est venue heurter la caisse lui a donné l'inclinaison nécessaire. Il ne reste plus qu'à faire pivoter le monte-charge pour le replacer dans la position de hissage.

§ 364. **Refouloir télescopique** — Le refouloir comporte trois tubes Z, Z', Z'' (fig. 7, vue 1), coulissant l'un dans l'autre sous l'effet de la pression d'eau.

Chaque tube se compose d'une partie pleine formant piston

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans le tube le plus grand, et d'une portion évidée servant de tige. Entre les tiges sont ménagés des espaces annulaires recevant l'eau sous pression. Des orifices x'',..., les mettent en communication entre eux. Le tube intérieur porte une tige cylindrique au bout de laquelle est placée la tête en bois du refouloir.

Grâce à la disposition du tiroir T″ (vue 4), l'avant du refouloir reçoit constamment l'eau sous pression ; et la communication n'est ouverte pour l'arrière que quand le tiroir a été mis à la sortie. Aussi le refouloir tend-il toujours à rentrer quand l'évacuation est ouverte en arrière. Lorsque les deux orifices sont ouverts, la différence de pression existant entre l'avant et l'arrière, à cause de l'inégalité des surfaces, chasse le refouloir en avant. Le tiroir ferme les deux orifices seulement quand on veut maintenir le refouloir immobile.

La douille N qui supporte le refouloir est creuse, et contient un joint articulé s'emmanchant avec deux tuyaux a''', a^{iv} (vues 2 et 3), qui conduisent l'eau sous pression sur les deux faces du refouloir. Elle est de plus traversée suivant son axe par une tige S (vues 1 et 4), qui reçoit un mouvement vertical par l'intermédiaire de l'équerre e' e''. Celle-ci obéit elle-même aux mouvements du refouloir, grâce à la tige S′, qui est méplate sur toute sa longueur, et porte à ses extrémités des butées n et n', venant heurter la branche e'' de l'équerre lorsque le refouloir se développe ou rentre dans sa gaine. La tige S relie les mouvements du refouloir à ceux du monte-charge par l'intermédiaire des appareils de sécurité de chargement placés au-dessous, et que nous décrirons plus loin.

Le même refouloir devant desservir deux pièces adjacentes dont les axes des sabords convergent. Sa douille N est supportée par un bâti en fonte creux M′, qu'elle traverse et dans lequel elle peut tourner. Les deux positions de refoulement sont déterminées par deux trous percés dans la couronne U de la base de la douille, et dans lesquels vient s'introduire un verrou horizontal q'' lié au mouvement du tiroir du monte-charge, et ne permettant la manœuvre de ce dernier que si le refouloir est bien orienté.

Le joint articulé (vues 2 et 3), qui termine la douille du refouloir à la partie inférieure, assure sa communication constante avec les deux orifices de son tiroir.

§ 365. **Poste de chargement. Boîte quintuple.** — Le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

poste de chargement L (fig. 7, vue 4) contient les renvois de mouvement de cinq tiroirs placés dans une boite commune Q, appelée *boîte quintuple*, dans laquelle afflue l'eau de la machine de pompage, par un seul tuyau W, et de laquelle part le tuyau W′ de retour d'eau au réservoir de la machine de pompage. Les renvois de mouvement des tiroirs sont munis d'organes de sécurité que nous allons décrire.

Le poste contient les leviers de manœuvre des cinq tiroirs relatifs aux deux canons adjacents, savoir :

Deux tiroirs d'introduction d'eau sous les verrous d'immobilisation des châssis, deux tiroirs de monte-charge, le tiroir du refouloir commun.

Sur le couvercle sont tracées les indications des douilles correspondantes, ainsi que les sens de manœuvre du levier marqués par des flèches.

§ 366. **Appareils de sécurité de chargement**. — Les conditions de sécurité de chargement sont les suivantes :

1° Qu'on ne puisse ouvrir le tiroir du monte-charge pour la montée que lorsque la pièce sera assujettie dans la direction voulue, l'affût étant mis au recul et le refouloir orienté. La position de la culasse est celle du pointage positif maximum.

2° Que le monte-charge soit arrêté automatiquement dans les trois positions de refoulement, et qu'on ne puisse manœuvrer le refouloir que dans ces trois positions du monte-charge.

3° Que les trois refoulements terminés, la liberté soit rendue à la pièce, et que tout soit disposé pour un nouveau chargement.

Voici comment on obtient ces différents résultats :

1° La pièce est fixée en direction au moyen du verrou d'immobilisation V (fig. 4), qui, sous l'action d'une presse hydraulique V′, vient s'engager dans une gâche g''' ménagée en dessous du châssis, et maintient ce dernier dans la position de chargement. Ce verrou V présente lui-même une gâche g^{iv}, dans laquelle, lorsqu'il est en haut de course, peut pénétrer une pièce horizontale k' appelée *contre-verrou ;* ce dernier est relié, par l'intermédiaire du levier vertical r'' à une longue tige horizontale l'. Celle-ci obéit, grâce à un renvoi de mouvement à sonnette, au verrou q'' (fig. 7, vue 4), destiné à immobiliser le refouloir dans la position de chargement. Comme ce verrou q'' ne peut être poussé que si

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le refouloir est bien orienté ; et comme il n'est possible, d'autre part, de mettre le tiroir T″ du monte-charge à la montée que si le dit verrou peut pénétrer dans son encastrement, ces deux mouvements deviennent connexes avec celui du verrou V (fig. 4) d'immobilisation du châssis ; et l'on aura la liberté de manœuvrer le monte-charge seulement quand le verrou V sera en haut de course.

Avant de s'engager dans sa gâche g''', le verrou V peut être pressé par la pointe du contre-verrou k'. Pour empêcher ce fait de se produire, le levier r'' du contre-verrou k' porte un téton m'', qui s'engage au-dessous d'un taquet m''' placé sur l'avant du verrou V et dans la même boîte que lui ; ce taquet se présente en face de deux cornières horizontales fixées au châssis, qui n'offrent de coupée que vis-à-vis de la gâche du verrou. Ce n'est donc qu'au moment où le taquet m''' arrivera à ce point qu'il pourra permettre au levier r'' du contre-verrou d'introduire ce dernier dans le cran g^{IV} du verrou.

Le verrou d'immobilisation assure encore que le tiroir des presses de recul a été placé pour le recul, et voici la disposition adoptée :

Dans la gâche g''' du verrou V pénètre un doigt d^{V}, articulé à un balancier b^{IV}, dont la branche porte une chaîne c^{V}. Celle-ci passe par un conduit ménagé dans l'entretoise AR du châssis, et vient se mailler avec un levier l'' calé sur l'arbre du tiroir de mise en batterie. Ce doigt d^{V}, obstruant la gâche g''' du verrou V, ne peut remonter que s'il y a du mou dans la chaîne c^{V}, c'est-à-dire si le tiroir a été manœuvré pour la mise au recul.

2° La colonne f (fig. 2, vue 1), qui supporte le monte-charge est munie de trois butées h', h'', h''', à saillie inégale (la plus haute étant la moins forte), qui viennent s'arrêter sous l'extrémité d'une longue pièce horizontale v'' ou v''' (fig. 7, vues 4 et 5), dite *verrou à crémaillère*, intimement liée au mouvement du refouloir.

Les verrous-crémaillères des deux canons correspondants sont conjugués, et manœuvrent toujours ensemble ; ils peuvent prendre un léger mouvement de bascule de bas en haut, en oscillant autour des pignons p'' et p'''. A l'extrémité opposée à celle qui bute sur les taquets du monte-charge, est articulée une bielle b^{V} ou b_1^{V}, qui s'abaisse quand l'extrémité avant s'élève, et dégage un butoir placé sur la douille du tiroir du refouloir. On ne peut donc mettre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le refouloir à la sortie que quand le monte-charge a soulevé le verrou-crémaillère et a été arrêté par lui, et seulement quand ce verrou est arrivé au terme du mouvement de bascule qui lui est permis.

Le refouloir, en se développant, fait monter, par l'intermédiaire de la tige méplate S′ (fig. 7, vues 1 et 4) et de l'équerre e' e'', la tige centrale S, à laquelle est suspendu le levier V″, dit *levier à cuvette ;* celui-ci est monté, d'autre part, sur un arbre horizontal a^{v}. Le mouvement vertical de la tige S produit la rotation du levier à cuvette V″ autour de son arbre a^{v}. Sur cet arbre est calée une roue à rochet r''' ; et le levier V″ lui-même supporte deux cliquets U′, qui, dans le mouvement de bascule du levier-cuvette V″, viennent mordre sur le rochet de la roue r''' et la font tourner. Il existe deux cliquets, mais un seul est en jeu ; l'autre est maintenu désarmé par le taquet o'' du verrou q'' du refouloir, qui lui-même n'est pas en action.

Sur l'arbre a^{v} de la roue à rochet r''', sont calés deux pignons dentés p'', p''' à denture oblique (vues 4 et 5), qui engrènent avec des crémaillères tracées au-dessus des verrous-crémaillères v'', v'''.

Quand le refouloir sort, la tige intérieure S (vue 4) est relevée, le rochet U′ vient en prise avec la roue r''' ; quand le refouloir rentre, le rochet actionne la roue r''', qui, en dévirant, entraîne son arbre a^{v}, et retire en arrière le verrou-crémaillère. Le monte-charge, dont le tiroir est resté légèrement ouvert à la montée, peut continuer son ascension, jusqu'à ce que sa seconde butée h'', plus saillante (fig. 2, vue 1) que la première, vienne rencontrer le verrou-crémaillère. A ce moment, les mêmes mouvements que ci-dessus se reproduisent. Le rochet est en prise avec la seconde dent ; puis, au troisième refoulement il saisit la troisième dent, le verrou sortant de plus en plus.

Le chargement étant terminé, le monte-charge s'élève encore, jusqu'à ce que sa butée h' vienne rencontrer un taquet fixe placé sur le bâtis, qui arrête définitivement le mouvement. Le tiroir étant alors disposé pour la descente, le verrou q'' (fig. 7, vue 4) du manchon du refouloir deviendra libre en même temps que le verrou d'enclanchement du châssis. Le taquet o'', fixé sur le verrou du manchon du refouloir, rencontre l'appendice o''' du cliquet U′ qui était en prise, et le désarme. L'arbre a^{v} des pignons, qui n'est plus retenu par le cliquet U′, tourne sous l'action d'un contre-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

poids, et ramène le verrou v'' ou v''' (vue 5) en avant, jusqu'à ce qu'il soit arrêté par la butée fixe k'' ou k'''. Le verrou lui-même est repoussé par un contrepoids à sa position inférieure ; et tout est prêt pour un nouveau chargement.

§ 367. **Écouvillon hydraulique.** — Cet appareil (fig. 6) consiste en une série de tuyaux s', s'', s''', avec joints articulés n'', n''', terminés par une lance analogue à celle des pompes à incendie.

La lance se compose d'un tuyau j''' central rétréci à son extrémité. L'écoulement de l'eau est réglé de la façon suivante : le tuyau j''' est complètement obstrué par une partie pleine s^{IV}, et il n'y a d'issue pour l'eau que par deux petits canaux o^{IV}, o^{V} aboutissant sur les côtés.

Le tuyau central est entouré par un manchon formé de deux tubes p^{IV}, p^{V}, liés ensemble par un pas de vis. Ce manchon coulisse à frottement doux sur le tuyau central j''' ; à l'intérieur est une partie évidée i^{VI}, qui vient, lorsqu'il est en bas de course, se présenter en face des petits canaux latéraux o^{IV}, o^{V}. L'eau peut ainsi contourner le bloc s^{IV} ; il suffit, pour ouvrir ou intercepter l'accès de l'eau, d'un simple mouvement longitudinal du manchon.

§ 368. **Fonctionnement.** — Le monte-charge ayant été préalablement chargé dans la soute et orienté pour la montée, on commence par amener le refouloir, en le faisant tourner à la main, dans la direction du canon à charger ; puis on introduit l'eau sous le verrou V (fig. 1 et 4) d'immobilisation du châssis. A cet effet, la douille i''' (fig. 5, vue 3), qui commande le tiroir dudit verrou, est amenée dans la position indiquée en pointillé ; le doigt v^{IV}, venu de fonte avec la douille i' de manœuvre du tiroir du monte-charge n'étant plus arrêté par l'appendice w'', rend la liberté d'action à la douille i', qui peut dès lors être placée dans la position en pointillé correspondant à l'ascension du monte-charge, à la condition que le verrou q'' (fig. 7, vue 4) du refouloir, relié par une équerre à la partie inférieure de la tige n^{IV} du tiroir du monte-charge, puisse pénétrer dans la couronne U du pivot du refouloir.

Dans son mouvement, le verrou q'' entraîne une équerre reliée à la tringle l' (fig. 4) du verrou d'immobilisation V du châssis, et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ne peut, par conséquent, se mouvoir que si ce verrou V a été amené à la position voulue pour le chargement. Tant que le tiroir du monte-charge est à la montée, le doigt v^{iv} (fig. 5, vue 3) de la douille de ce tiroir, placé devant l'appendice w'' attenant à la douille du tiroir dudit verrou V, empêche que ce dernier tiroir ne soit mis à l'évacuation, et que le châssis ne puisse être déplacé.

Le monte-charge, comme nous l'avons vu, est arrêté dans chacune des trois positions de refoulement par le verrou à crémaillère v'', dont l'extrémité est rencontrée par la butée à trois étages h', h'', h''' (fig. 2, vue 1). Chacun de ces étages venant heurter successivement sous le verrou v'', soulève ce dernier d'une petite quantité en le faisant tourner autour du pignon p''. L'extrémité opposée, qui a une course de haut en bas, entraîne le verrou j^{iv} (fig. 5, vue 3) de sécurité du refouloir.

Tant que ce dernier est sollicité par le verrou à crémaillère, il empêche que le tiroir du monte-charge ne puisse être mis à la descente, la queue t^{iv} (position en pointillé) venant buter dans la mortaise du verrou j^{iv} ou j_1^{iv} (vue 4) où elle est engagée. Ce dernier verrou, dans son mouvement de descente, entraîne le balancier l''', et lui fait prendre l'une des deux positions tracées en pointillé ; la saillie q^{iv} (vue 2) de ce balancier s'abaissant, permet à la douille i'' du tiroir du refouloir de se placer dans la position en pointillé correspondant au refoulement ; car le renflement b^{vi} peut dès lors passer par-dessus la saillie q^{iv} du balancier l''' (vue 4).

HYDRAULIQUES DU DERNIER TYPE FARCOT POUR TOURELLE BARBETTE. — PLATE-FORME TOURNANTE A CHARGEMENT CENTRAL. — CANON DE 34^{cm}.

§ 369. **Dispositions générales.** — Le dernier type d'installation hydraulique de Farcot est représenté planche XV.

Le canon est porté sur plate-forme tournante en tôle et cornières ; il fait corps avec l'affût. Ce dernier, formé de flasques en tôlerie, glisse sur les châssis c, c (fig. 1 et 2), auxquels il est agrafé par les pièces en fer forgé b, b, qui servent en même temps d'attaches pour les tiges des pistons des presses de recul.

La plate-forme tourne sur une couronne de galets $h, h, \ldots$

La tourelle est d'un diamètre aussi petit que possible, afin de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

diminuer la surface vulnérable, ainsi que les poids et l'encombrement. Le diamètre intérieur est réduit à $6^{m},200$, bien qu'il reste encore tout autour de la plate-forme un espace libre de $0^{m},200$ environ, afin d'isoler cette dernière de la muraille cuirassée.

La partie intérieure de la tourelle est protégée par une coupole cuirassée *kk*, fixée solidement à la plate-forme et tournant avec elle. Elle est en tôle d'acier et présente une épaisseur totale de 60^{mm}.

Une guérite *l*, disposée pour le chef de pièce, surmonte cette coupole à l'AR du canon; elle est en tôle d'acier et a une épaisseur totale de 80^{mm}. Elle est coiffée dans sa partie supérieure par une toiture en tôle d'acier de 15^{mm} d'épaisseur, qui se prolonge par une visière, de manière à protéger autant que possible contre le tir des hunes la partie de la plate-forme qui est exposée à ce feu quand le canon est en batterie. Une ouverture pratiquée à l'AV de la guérite permet au chef de pièce d'y pénétrer.

Le tube de passage des munitions *t* est réduit autant que possible; il va de la plate-forme au vaigre; il est isolé de l'anneau cuirassé par un espace libre de 10^{cm} environ. Ce tube est en tôlerie, et constitue dans sa partie supérieure le pivot fixe de la plate-forme tournante; dans sa partie inférieure, il forme la guérite isolant les soutes d'avec la tour. Des échelles ont été établies dans l'intérieur pour le passage des hommes. L'orifice supérieur est fermé par un panneau mobile en deux parties S, S (fig. 1 et 3), pendant que le monte-charge est descendu chercher les munitions dans la soute.

L'arrivée et le retour d'eau pour les hydrauliques de la plate-forme s'effectuent dans un genre analogue à celui de la planche XVI expliqué ci-après (§ 379). Seulement ici les joints articulés x'_1, x'_1, x'_1 (fig. 2), destinés à suivre le mouvement de la plate-forme pour y distribuer l'eau, sont placés sur celle-ci même, au lieu d'être au fond du navire. Et alors le tuyau fixe x_1 d'arrivée d'eau monte le long et à l'extérieur du puits de chargement, et vient aboutir dans le boisseau mobile du premier desdits joints. Quant au retour d'eau, il n'a pas été figuré sur les dessins.

§ 370. **Pointage latéral.** — Le pointage latéral du canon est obtenu au moyen de deux chaînes enroulées, en sens inverse l'une de l'autre, sur un tambour en tôlerie *i* solidement relié à la plate-forme tournante. Ces deux chaînes sont actionnées chacune par un palan hydraulique situé au-dessous du pont cuirasse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les presses hydrauliques e, e (fig. 1) en acier, fixées solidement aux côtés du châssis, servent à amortir le recul et à mettre le canon en batterie ou hors batterie.

§ 371. **Pointage en hauteur.** — L'affût étant fixé invariablement au canon, le pointage en hauteur s'obtient par l'oscillation du châssis lui-même. Cette disposition permet de supprimer les tourillons du canon et de reporter le centre d'articulation au-dessous de la partie cuirassée.

Les points d'articulation d, d (fig. 2) du châssis, ainsi que les deux presses hydrauliques f, f destinées à le manœuvrer, sont fixés sur la plate-forme tournante, dont l'$\mathcal{AR}$ est dégagé, pour laisser un grand espace libre aux deux servants placés dans la plate-forme.

§ 372. **Refouloir.** — Le refouloir télescopique p (fig. 1 et 2) destiné à refouler les charges dans le canon, pivote autour d'un axe vertical q. Il vient se ranger le long de la plate-forme à l'abri complet de la coupole pendant le tir, tout en dégageant complètement l'espace réservé aux hommes de manœuvre.

§ 373. **Monte-charge.** — Le chargement peut s'effectuer dans toutes les positions du canon, au repos ou en mouvement.

Le corps du monte-charge v (fig. 2 et 3) est formé d'un tube en tôle portant à sa partie supérieure les trois lunettes en tôlerie w, w, w, contenant les munitions, et qui peuvent tourner à la main autour d'un axe horizontal ; ce qui permet à l'homme de manœuvre de présenter successivement chacun des tubes dans l'axe du canon. A sa partie inférieure le corps du monte-charge estrelié à un fût x.

Ce corps, qui est en tôle, est constamment guidé vers sa partie supérieure, à l'aide de deux glissières g_1, g_1, par les directrices u, u fixées au tube t ; elle est munie à sa partie inférieure de deux articulations y et z. L'articulation y à axe vertical permet au monte-charge de tourner par rapport au fût x, pour s'orienter dans l'axe du canon quelle que soit la position de ce dernier. L'articulation z à axe horizontal permet au monte-charge de s'incliner dans le plan longitudinal par rapport au fût x, afin d'éviter l'arrière du canon dans son ascension, et de venir se placer juste à l'inclinaison voulue dans le prolongement de l'axe de la pièce à sa position de chargement. Pour forcer le monte-charge à s'incliner dans le plan longitudinal de manière à éviter le canon, deux fers en $\sqcup$ a_1, a_1 (fig. 2) sont rivés sur les côtés du monte-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

charge ; et deux galets b_1, b_1 (fig. 1, 2 et 3) fixés à la plate-forme produisent le déplacement voulu en roulant dans les fers a_1, a_1.

Enfin il reste à orienter pendant son ascension le corps du monte-charge dans la direction du canon, quelle que soit sa position. Ce résultat est obtenu au moyen du galet directeur c_1 placé à la partie supérieure du monte-charge. Un tube en tôle d_1, tournant avec la plate-forme, est terminé par deux guides hélicoïdaux venant aboutir à une rainure verticale, et s'étendant circulairement de l'angle dont la plate-forme peut tourner à droite ou à gauche de sa position moyenne. Ces deux guides sont destinés à ramener, pendant l'ascension du monte-charge, le galet c_1 dans la rainure verticale à laquelle ils viennent aboutir et, par suite, à placer le monte-charge dans le plan longitudinal du canon ; car ce galet vient toujours, tôt ou tard, dans son ascension, buter contre l'un des guides, qui lui sert dès lors de rampe. Un second tube en tôlerie f_1 est fixé au tube t. Sa partie supérieure est terminée par deux guides hélicoïdaux semblables à ceux du tube d_1, et qui sont destinés à ramener, pendant sa descente, le monte-charge toujours à la position unique qu'il doit occuper dans la soute pour l'introduction des munitions. Les glissières g_1, g_1, (fig. 2 et 3) de la partie supérieure du monte-charge, viennent se mettre en prise avec les directrices u, u, quand le galet c_1 est arrivé dans la rainure verticale aboutissant aux deux plans hélicoïdaux ; elles servent alors à guider toute la partie supérieure du monte-charge dans le puits. Un balancier compensateur K_1 est fixé au bas du fût x; à son extrémité sont attachées les deux chaînes élevant le monte-charge. Ce balancier sert à compenser les différences de longueur que peuvent avoir les deux chaînes, en répartissant également l'effort sur chacune d'elles.

Grâce à la disposition que nous venons de décrire, avec le seul appareil hydraulique nécessaire à l'ascension du monte-charge, qui est placé tout à fait à l'abri au-dessous de la flottaison, et par le seul fait de cette ascension, sans aucune manœuvre à bras, on amène les tubes de chargement contenant les munitions à l'Æ du canon dans la position voulue pour le refoulement.

Le servant n'a qu'à faire tourner à bras le revolver composé des trois lunettes afin de présenter chacune d'elles dans l'axe du canon pour en opérer le refoulement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

4e Pie. — CHAPITRE II

DISPOSITIONS POUR TOURS TOURNANTES

HYDRAULIQUES DE LA CANONNIÈRE L' « ACHÉRON » ET DU CUIRASSÉ ESPAGNOL LE « PÉLAYO ». — TOUR TOURNANTE. — CANON DE 27cm OU DE 34cm. — TYPE DES FORGES ET CHANTIERS DE LA MÉDITERRANÉE.

§ 374. **Disposition générale.** — Cette installation est représentée Pl. XVI. Le canon C est invariablement relié à l'affût A, et n'a pas de tourillons, comme dans le *Magenta*.

L'affût glisse sans galets sur les poutrelles B du châssis, qui est mobile autour de l'axe D pour le pointage en hauteur. Cette disposition a pour but de placer plus bas et mieux à l'abri des projectiles ennemis l'axe d'oscillation de la pièce. L'affût est relié au châssis par les agrafes $a, \ldots, a$.

Le châssis est porté par une plate-forme tournante P roulant sur une couronne de galets G, ..., G, avec circulaire supérieure c et circulaire inférieure fixe c'.

Le blindage, qui a 20cm, se compose de deux parties : l'une fixe B′, et l'autre B″ mobile et tournant avec la plate-forme, pour abriter la pièce ainsi que ses mécanismes.

La volée sort de la tourelle à travers un sabord S.

La toiture T, formée de trois tôles d'acier d'une épaisseur totale de 0m,05, est percée d'une lucarne recouverte d'une guérite G′ blindée, abritant le chef de pièce qui est perché sur une plate-forme p, et a sous la main les volants de pointage.

§ 375. **Pointage en direction.** — Le pointage en direction est produit par un mécanisme analogue identique à celui du *Tonnant* et de l'*Amiral-Duperré*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Sur le tambour D″ (fig. 1) de la plate-forme tournante sont maillées avec enroulement en sens inverse les deux chaines *d* et *d′*, qui, passant sur diverses poulies de retour *p′* et *p″*, vont s'enrouler sur les presses mouflées I et I′.

Le volant V de leur tiroir est manœuvré par la main droite du pointeur, et son mouvement est asservi à celui de la plate-forme de la manière suivante :

L'arbre vertical *b* du volant de manœuvre porte, à sa partie inférieure, une roue d'angle *r* transmettant son mouvement à l'arbre horizontal *s*, qui, lui-même, le transmet à l'arbre vertical *t* descendant au fond du puits de chargement le long de la directrice de droite D′ du monte-charge. L'arbre *t* est muni à sa partie inférieure d'un pignon satellite *g* engrenant avec la couronne d'asservissement *a′* montée folle autour de la presse P′ du monte-charge et supportée par des galets *i*, en même temps que les galets *i′* la maintiennent intérieurement. Cette couronne d'asservissement transmet son mouvement au tiroir de pointage en direction T′ par l'intermédiaire du bras *m* claveté sur l'arbre *e* de ce tiroir.

Nous ne reviendrons pas sur le fonctionnement du pointage en direction, qui est absolument le même que pour le *Tonnant*. Il suffira de rappeler que, pour mettre la tour en mouvement à droite ou à gauche, on n'a qu'à manœuvrer le volant V dans le même sens ; pour accélérer ou ralentir son mouvement, il faut accélérer ou ralentir celui du volant V ; et enfin, pour la maintenir immobile dans une position voulue, il n'y a qu'à immobiliser ce volant.

Le verrou *v* (fig. 2), manœuvré à l'aide du volant V′ et de la vis sans fin *v′*, sert à immobiliser la tourelle dans sa position de repos.

Il existe, en outre, un frein formé de deux mâchoires *m′* et *m″*, rapprochées ou écartées par la vis *v″* à deux filetages inverses. Ce frein est manœuvré à l'aide du volant V″, de l'arbre U, portant la vis sans fin *u*, et de la roue striée *r′*. Il a pour but d'immobiliser la pièce dans toutes les positions de pointage en direction pendant le chargement.

L'aiguille *l* (fig. 3) indique, sur le cadran *n* placé à l'arrière de la plate-forme, la position de la tour relativement à l'axe du navire.

§ 376. **Pointage en hauteur.** — Comme nous l'avons

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dit, la pièce est reliée invariablement à l'affût ; et le pointage en hauteur est déterminé par le mouvement d'oscillation du châssis B autour de l'axe D des tourillons qui tournent dans des paliers fixés à la plate-forme tournante.

Ce mouvement du châssis est obtenu à l'aide de la presse hydraulique simple o (fig. 1), dont le piston à double effet est à fourreau. La tête de la tige du piston est articulée à l'entretoise milieu du châssis.

Le tuyau q, en communication constante avec l'arrivée d'eau sous pression, amène l'eau sur la surface annulaire supérieure du piston, et ajoute sa poussée de haut en bas au poids des pièces pour abaisser la culasse lorsque l'évacuation est permise sous le piston. La face circulaire inférieure du piston communique au tiroir de pointage en hauteur par le tuyau q'. Ce tiroir n'a donc qu'à produire l'introduction ou l'évacuation sous le piston.

Le volant de manœuvre V''' est placé dans un plan vertical à portée de la main gauche du pointeur. Son arbre h conduit à un index parcourant une échelle qui indique le degré d'ouverture du tiroir pour le pointage en hauteur positif ou négatif. L'extrémité droite de cet arbre transmet son mouvement par des roues d'angle à un arbre vertical b' ; ce dernier commande par engrenages la tige x. L'extrémité $\mathcal{R}$ de cette tige est taillée en crémaillère ; et son extrémité $\mathcal{N}$, par une série de leviers x' (fig. 3), conduit le tiroir T'' (fig. 2).

Le châssis est immobilisé à la position de chargement, qui est la position horizontale, au moyen des deux verrous v''' et v^{IV} ; les tiges t' et t'' (fig. 1 et 3) de ces verrous sont articulées aux bielles b'', b''' (fig. 2), qui les relient à un levier de manœuvre l' (fig. 1), et montées sur l'arbre a''. Le levier terminé par une poignée est manœuvré par le servant de gauche.

Le tiroir de pointage en hauteur a trois positions, savoir :

Pour la montée de la culasse, ouvrant à l'introduction sous le piston de la presse o ; pour la descente, ouvrant à l'évacuation ; et our le tir, fermant l'orifice communiquant avec la presse.

§ 377. **Mise en batterie et au recul.** — La mise en batterie et au recul s'obtient au moyen des deux presses P'' et P''' (fig. 2) boulonnées aux poutrelles du châssis, et dont les pistons ont leurs tiges fixées aux oreilles o' et o'' de l'affût. Ces presses

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sont à double effet. Leur tiroir commun, placé à l'arrière de la plate-forme en T‴ (fig. 3), est manœuvré par le servant de gauche au moyen d'un levier l'''. Il a trois positions, savoir : mise en batterie, introduisant l'eau sous pression sur l'$\mathcal{AR}$ des pistons ; mise au recul, introduisant l'eau sur l'$\mathcal{AV}$; et position de tir, fermant les orifices.

Ces presses diffèrent de celles des appareils déjà décrits en ce qu'elles ont une boîte commune M (fig. 1 et 2) fixée à l'entretoise du châssis. Cette boîte est à deux compartiments : celui de l'avant communique à l'$\mathcal{AV}$ des presses par les tuyaux X et X′, et celui de l'$\mathcal{AR}$ communique à l'$\mathcal{AR}$ des presses par les tuyaux Y et Y′. C'est à ces deux compartiments qu'aboutissent, après un long détour nécessité par le chassis, les tuyaux y et y' venant de la boîte à tiroir T‴. La cloison qui les sépare est percée de deux ouvertures fermées par les soupapes de recul, qui sont maintenues sur leurs sièges par des ressorts Belleville R. Ainsi se trouve constitué le frein hydraulique pour le tir.

§ 378. **Monte-charge**. — Le monte-charge M′ (fig. 1 et 2) est une caisse en tôle contenant deux tubes S_1, S'_1, destinés à recevoir les deux demi-gargousses.

La partie supérieure est demi-cylindrique, pour loger le projectile p''' qui y est maintenu par une vis v^x. La partie inférieure peut glisser de l'$\mathcal{AV}$ à l'$\mathcal{AR}$ sur des galets n', n', ..., fixés au plateau qui termine la presse télescopique.

Des galets n'', n'' maintiennent le monte-charge dans les conduites des directrices D′, D‴, fixées au tube pivot K par les jambes de force J.

Les directrices et le monte-charge sont entraînés dans le mouvement de rotation de la plate-forme tournante. Lesdits galets n'', n'' servent à diriger le monte-charge dans son ascension et sa descente, de façon à le placer en haut dans la position de chargement en parant la culasse, et en bas dans la position convenable pour recevoir les munitions, c'est-à-dire au-dessous du chemin de fer Z. Ce dernier supporte le chariot z muni d'un palan différentiel ; il sert à transporter les projectiles du parc à boulets sur le monte-charge. Les demi-gargousses sont placées à la main dans le monte-charge.

La presse télescopique du monte-charge est formée de trois

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tubes glissant à frottement les uns dans les autres. Le tube extérieur P′ constitue la presse proprement dite. La tige supérieure t'' supporte le plateau.

Le haut de la presse est toujours en communication avec l'arrivée d'eau sous pression par le tuyau z'.

Le tiroir T^{IV} (fig. 1), manœuvré d'en bas à l'aide du levier l''', n'a qu'à produire par le tuyau s'' l'introduction ou l'évacuation sous les pistons pour déterminer la montée ou la descente du monte-charge.

Les stations du monte-charge pour le refoulement des projectiles et des deux demi-gargousses, sont déterminées par les verrous V^{IV}, V^{V} (fig. 2), que le servant de droite commande, sur l'arrière de la plate-forme, à l'aide du levier l^{IV}.

Le refoulement se fait à bras.

§ 379. **Tuyautage et circulation d'eau.** — Le tuyau L (fig. 1), vers le fond du navire, est la conduite générale d'arrivée d'eau sous pression; et le tuyau N celle de retour d'eau au réservoir de la machine de pompage.

Le tuyau L′ amène l'eau sous pression de la conduite générale L au tiroir T^{IV} du monte-charge. L'arrivée de l'eau à ce tiroir peut être interceptée par une soupape manœuvrée à l'aide du croisillon c''. Par le tuyau s'' le tiroir produit l'introduction ou l'évacuation dans le dessous de la presse télescopique P′. Il évacue au retour d'eau N par le tuyau N′.

Le robinet r^{IV} et son tuyau bifurqué t^{VI} servent à faire le plein des presses I et I′. La conduite L aboutit au joint articulé j', d'où part le tuyau f conduisant l'eau sous pression à la boîte à tiroir T′ du pointage en direction. Une soupape manœuvrée à l'aide du volant c''' peut intercepter cette arrivée d'eau. Le tiroir T′ produit par les tuyaux d'', d''' l'introduction ou l'évacuation sous les pistons des presses I et I′, et par le tuyau q'' il évacue à la conduite générale de retour d'eau.

Le joint articulé j' est relié à deux autres joints de même espèce ; leur ensemble constitue un système qui se déroule pendant que la plate-forme tourne dans le pointage en direction d'un certain angle à droite ou à gauche, et il permet l'arrivée de l'eau sous pression de la conduite générale fixe L au tuyau mobile f' (fig. 2), qui alimente les appareils de la tour.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le tuyau f' aboutit à la boîte d'arrivée d'eau g' d'où partent trois tuyaux : le tuyau y'' conduisant l'eau sous pression à la boîte à tiroir T''' (fig. 3) de mise en batterie ; le tuyau h' (fig. 2) l'amenant à la boîte à tiroir T'' de pointage en hauteur ; et le tuyau q (fig. 1) faisant affluer constamment l'eau sous pression sur le piston de la presse o de pointage en hauteur.

Le tiroir T'' (fig. 2) de pointage en hauteur, auquel l'arrivée d'eau peut être interceptée par la soupape a''', produit l'introduction ou l'évacuation sous le piston de la presse o (fig. 1) par le tuyau q'. Il évacue par le tuyau e'' (fig. 2) à la boîte de retour d'eau H.

La boîte H se déverse dans le réservoir circulaire R' entourant le pied de la douille K', dans laquelle tourne le pivot K de la tourelle.

De ce réservoir R' part le tuyau N de retour d'eau général.

HYDRAULIQUES DU « VENGEUR », GARDE-CÔTES CUIRASSÉ. — TOUR TOURNANTE A DEUX PIÈCES DE 34^{cm}. — TYPE ANGLAIS.

§ 380. **Disposition générale** (Pl. XVII). — La tour cuirassée T (fig. 1) est tournante, et contient deux pièces de 34^{cm}, dont le pointage en direction est forcément simultané.

Cette tour repose sur une couronne de galets G, ..., G ; et elle est maintenue transversalement par le pivot fixe P_1.

Dans l'axe de ce pivot est placé un joint articulé ou couronne d'eau C_1, que nous décrirons plus loin en détail, permettant à l'eau sous pression d'affluer aux appareils de pointage en hauteur et de mise en batterie des pièces qui tournent avec la tour.

La tringle de manœuvre du tiroir de pointage en direction traverse le pivot suivant l'axe.

§ 381. **Pointage en direction**. — Le pointage en direction est produit par la rotation de la tour, obtenue à l'aide d'une machine oscillante à trois cylindres, dans laquelle la vapeur est remplacée par l'eau sous pression.

Le mouvement est transmis à l'arbre A (fig. 1) à trois manivelles ; et il est communiqué à la tour au moyen des axes verticaux A_1, A'_1, portant des pignons r_1, r'_1 qui engrènent avec une couronne dentée intérieurement R_1 fixée à la tour.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 382. **Mise en batterie et au recul.** — Les presses de mise en batterie et au recul étant placées dans la tour et tournant avec elles, l'eau arrive et évacue à travers la couronne d'eau.

L'appareil de mise en batterie et au recul étant absolument semblable à celui du *Tonnant*, nous renvoyons le lecteur à la description qui en a été faite.

§ 383. **Pointage en hauteur.** — Les mécanismes de pointage en hauteur sont également semblables à ceux du *Tonnant*, et en diffèrent seulement par quelques détails. L'axe d'oscillation du bras de pointage, qui est en tôle, se trouve placé à l'arrière du châssis au lieu d'être à l'avant, et le tuyautage ne comporte pas de reniflard.

§ 384. **Verrous de sécurité de la tour.** — Le chargement des pièces ne peut s'opérer que lorsque leur axe est parallèle à celui du navire, la volée faisant face à l'AV ou à l'AR ; ces positions sont, du reste, indiquées par une aiguille qui parcourt un plateau central. On immobilise la tour dans la position voulue à l'aide de deux verrous hydrauliques.

Ces verrous V, V′ (fig. 4), placés à l'intérieur de la tour, en traversent la muraille, et viennent s'engager dans des armatures A′ fixées au bâtiment à babord et à tribord.

Deux cylindres C, C′ sont divisés chacun en deux par des cloisons H, H′. Dans ces cylindres se meuvent des pistons P, P′, P_1, P'_1, reliés entre eux deux à deux par des tringles et des boulons. Les pistons extérieurs P'_1 et P portent les verrous V, V′, et servent à les faire sortir ; les pistons intérieurs P′ et P_1 produisent la rentrée des verrous quand le chargement est terminé.

Un tiroir commun T produit l'introduction de l'eau sous les pistons extérieurs pour armer les verrous, ou sous les pistons intérieurs pour les désarmer.

Les tringles qui relient les pistons actionnent des leviers à fourche l, l, qui ouvrent les passages des projectiles lorsque la tour est en position de chargement.

§ 385. **Palan hydraulique pour monter les projectiles.** — Cet appareil (fig. 5) se compose de deux cylindres C et C′ inégaux, verticaux, à simple effet, à axes parallèles et agissant de haut en bas, l'un évacuant quand l'autre introduit. La tête du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

piston plongeur P porte trois réas r', r', r', et le fond du cylindre deux réas r', r', qui avec les premiers forment un palan. La chaîne garant c fait dormant en D′ ; et l'autre extrémité, en quittant le réa r''', passe dans le chariot I, sur une poulie P_1 ayant son axe sur ce chariot, et se termine par un contrepoids C_1 portant le croc de la lanterne de hissage.

Le chariot glisse sur une poutrelle B faisant corps avec la potence d'une grue, dont le pivot est placé entre les deux cylindres C_1, C'_1, et qui peut tourner horizontalement de babord à tribord, à l'aide d'une vis sans fin et d'un pignon parcourant une crémaillère qui lui sert d'appui.

La grande presse C sert à hisser les projectiles et à rapprocher le chariot du pivot. La petite presse C′ est destinée à l'éloigner. La tête du petit piston P′ porte deux réas r'', r'', et le fond de son cylindre un réa r'', ce qui constitue un palan hydraulique dont la chaîne c' fait dormant en d. L'autre extrémité, après avoir passé sur la poulie de retour fixe r''', et une deuxième poulie p, placée à l'extrémité de la grue, vient s'attacher au chariot I.

On voit que, par l'effet de l'eau sous pression, ce dernier palan peut éloigner le chariot de l'axe de la grue.

Le chariot I est muni d'un verrou V pouvant glisser verticalement entre les parties y, y. Ce verrou porte en haut un tenon que l'on engage dans des trous percés à travers le barreau et à des intervalles égaux représentant la distance entre deux casiers à boulets. Il se manœuvre à l'aide de la roue R′, dont l'axe porte un doigt g s'engageant dans l'épaisseur du verrou ; une rainure pratiquée au-dessous de l'axe permet au verrou de monter. Un cordon enroulé autour de la roue R′ et terminé par deux poignées en bois M, M′ sert à manœuvrer le verrou, que l'on peut introduire dans l'un des trous du barreau ou retirer à volonté, de façon à fixer ou délivrer le chariot.

La chaîne c en traversant le verrou est étranglée par celui-ci à sa position inférieure ; et elle se trouve alors comme maillée sur le chariot I.

L'eau sous pression arrive dans la boîte à tiroir B′ par le tuyau 4. Le tiroir est manœuvré par l'intermédiaire de l'arbre a, du levier courbe L, de la manivelle m et de la bielle b, au moyen d'une corde N tendue par les contrepoids P_2 et P'_2. Un curseur indique le sens de la manœuvre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le tiroir T commun aux deux presses produit l'introduction à l'une en même temps que l'évacuation à l'autre.

§ 386. **Couronne d'eau.** — Cette installation (fig. 6), destinée à permettre dans la tour d'une façon continue l'admission et l'évacuation de l'eau sous pression, se compose d'une douille creuse *b* boulonnée par sa base à la plate-forme fixe P, sous l'axe de la tour. Elle est divisée en deux compartiments *c* et c_1. Dans le premier *c* arrive constamment par le tuyau T l'eau sous pression venant de l'appareil de pompage ; le compartiment c_1 déverse dans le retour d'eau par le tuyau T_1. La couronne se prolonge en haut par le tube A, qui est relié au moyen du clavetage a_2, et qui est terminé à sa partie supérieure par le plateau circulaire *f*, dont la circonférence est divisée en degrés. Le cercle *f'* qui l'entoure tourne avec la tour ; et un index que porte ce cercle indique sur le plateau *f* le degré de pointage en direction à droite ou à gauche.

La douille *b*, fixée sur la plate-forme P, constitue comme la noix intérieure d'un robinet, dont le boisseau est formé par la douille extérieure *m* qui l'entoure, et qui, entraînée par les tuyaux T' et T_1', participe au mouvement de rotation de la tour. Le boisseau est muni de deux évidements circulaires *c'* et c_1'.

Le compartiment *c*, dans lequel l'eau afflue sous pression par le tube T, communique constamment par la fenêtre 1 (vue 2) avec l'évidement *c'*. Le compartiment c_1', recevant le tuyau de retour d'eau T_1', est en communication constante avec l'évidement annulaire c_1 par la fenêtre 2.

En résumé, l'eau arrivant de la machine de pompage par le tuyau T remplit le compartiment *c* de la noix, et par la fenêtre 1 l'évidement circulaire *c'* du boisseau ; puis elle se rend par le tuyau T' aux tiroirs de la tour.

L'eau de retour de ces tiroirs arrive par le tuyau T_1' dans l'évidement circulaire c_1', d'où elle passe dans le compartiment c_1 de la noix par la fenêtre 2, et se rend par le tuyau T_1 au conduit général de retour d'eau.

Des cuirs en U assurent l'étanchéité de l'appareil.

La douille extérieure *m* est maintenue le long de la douille intérieure *b* par l'écrou K.

Suivant l'axe passe la tringle verticale *l* reliée par la clavette

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

p au manchon M, mis en mouvement lui-même à l'aide d'un levier qui s'articule en L. Cette tringle sert à manœuvrer, par l'intermédiaire du mouvement à sonnette l_1 et l_2 et de la bielle l_3, le tiroir d'asservissement de la machine de rotation de la tour. Le levier L parcourant un arc gradué, sa position sur cet arc détermine le sens de la rotation de la tour.

HYDRAULIQUES DU « TONNERRE ». — TOUR TOURNANTE A DEUX PIÈCES DE 27^{cm}. — TYPE ANGLAIS.

§ 387. **Machine de pompage.** — Cette machine se compose de trois parties principales : 1° le moteur à vapeur formé de trois cylindres horizontaux; 2° la pompe comportant trois pistons à double effet et différentiels ; 3° l'accumulateur.

Chaque piston à eau P (fig. 1, Pl. XVIII) est conduit par la contre-tige de l'un des pistons à vapeur ; et la section de la tige T est la moitié de celle du piston. Chaque corps de pompe C a trois clapets c, c' et c'' : l'un c d'aspiration, l'autre c' de refoulement, et le troisième c'' intermédiaire.

Nous avons étudié, en décrivant les machines de pompage (§ 342 et suivants), le fonctionnement des pompes.

L'accumulateur est à ressort ; il se compose d'un cylindre A, et d'un piston plongeur p pénétrant à travers un presse-étoupe en cuir embouti. Ce piston p porte à la partie supérieure une collerette B traversée à frottement doux par quatre colonnes fixées au cylindre. Sur cette collerette appuyent les seize ressorts R, ..., R, réglés à 50^{kg} par centimètre carré de surface du piston. L'eau dans le cylindre A (qui est en communication avec la conduite générale par le tuyau K) atteint donc la pression de 50^{kg} dès que le piston p commence à monter.

§ 388. **Pointage en direction.** — Le pointage en direction (fig. 6) s'opère, comme à bord du *Vengeur*, par la rotation de la tour. Ce mouvement est obtenu au moyen d'une machine hydraulique oscillante à trois cylindres, dont l'arbre est vertical, et porte à son extrémité supérieure un pignon engrenant avec une couronne dentée boulonnée à la tour.

L'arbre vertical A a trois manivelles M, M′, M″, sur lesquelles

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sont articulées les têtes de trois pistons plongeurs P, P′, P″, dont les cylindres oscillants C, C′, C″ portent chacun deux tourillons verticaux T, T′. Le tourillon inférieur T′ est creux, et communique d'une part à l'intérieur du cylindre, et de l'autre, au moyen des fenêtres *a*, à l'espace annulaire *b* et au tuyau *t* ; par ce dernier se fait alternativement l'introduction et l'évacuation pendant une rotation de l'arbre. Le tourillon supérieur T porte un bouton excentré *e*, conduisant par l'intermédiaire de la bielle B un tiroir en coquille D placé dans une boîte E (vues 1 et 2). C'est ce tiroir qui produit alternativement l'introduction et l'évacuation sous le piston.

La boîte E contient, en outre du tiroir de distribution D, la plaque J, qui produit, comme nous allons le voir, le renversement de la marche.

La glace du tiroir D est percée de trois orifices 1, 2 et 3 ; chacun en regard de l'un des orifices 4, 5 et 6 de la boîte. Deux de ces derniers, 4 et 6, communiquent entre eux et avec le tuyau *t* qui conduit l'eau au tourillon T′ du cylindre correspondant. La plaque mobile J est percée de deux orifices seulement ; et, dans les deux positions extrêmes de cette plaque, l'un de ses orifices correspond toujours à l'orifice 5, qui est en communication avec la conduite F de retour d'eau, tandis que l'autre orifice correspond avec l'un ou l'autre des orifices 1 et 2. On voit donc que la plaque J, par son déplacement, supprime l'un des orifices extrêmes de la glace du tiroir à ses bouts de course ; dans les positions intermédiaires, elle les étrangle ; à demi course, elle les ferme tous complètement.

Prenons, par exemple, la position de la vue 2 ; si l'on pousse la plaque J tout à fait vers la gauche, l'orifice 2 se trouvera bouché et 1 sera ouvert. Il y aura donc introduction par l'orifice 1 lorsque le tiroir D marchera à droite de sa demi-course, et évacuation lorsqu'il sera à gauche de cette même position.

Nous voyons sur la vue 3 que, pour que la rotation ait lieu dans le sens de la flèche α, il faut qu'il y ait introduction pendant que la manivelle parcourra la demi-circonférence $P_1M'M$, et évacuation pendant qu'elle décrira la demi-circonférence $MM''P_1$. A cet effet, le bouton excentré du tourillon supérieur qui conduit le tiroir D se trouve sur l'arc *u v*, à droite de la demi-course *u*, lorsque la manivelle est sur la demi-circonférence $P_1M'M$, et sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'arc $u\,x$ lorsque la manivelle parcourt la demi-circonférence $M\,M''\,P_1$.

Si maintenant nous poussons la plaque J vers la droite, l'orifice 1 sera fermé ; et l'introduction se faisant par 2, la machine se mettra en mouvement suivant le sens inverse indiqué par la flèche β.

La position de la plaque J détermine donc le sens de la rotation, ainsi que la vitesse de celle-ci par l'étranglement des orifices.

Chacune des trois plaques J est entraînée par une tige X′, reliée elle-même par une bielle B′ à un levier L calé sur un arbre unique A′ ; celui-ci porte un levier l, qui, par l'intermédiaire de la bielle B″, est relié à la tige X d'un piston p. Ce dernier peut se mouvoir dans un cylindre c, d'où partent les deux tuyaux I et I′ d'introduction, aboutissant à deux orifices 7 et 8 de la boîte G, dite de *manœuvre*.

La même glace comporte un troisième orifice 9 communiquant par le tuyau H au retour d'eau F.

Il y a un tiroir en coquille R (vue 4) qui se meut dans la boîte G ; il agit comme tous les organes de ce genre, et ferme à demi course les orifices 7 et 8. Il porte une plaque-registre R′, qui, à demi course, ferme un orifice auquel aboutit dans la boîte G le conduit général N d'eau sous pression. Les recouvrements à l'introduction du tiroir R sont de 1/2 millimètre, tandis que ceux de la plaque-registre R′ sont de 9^{mm} ; cette disposition a pour but de permettre d'introduire l'eau dans le cylindre c, et, partant, de disposer des plaques J avant l'introduction de l'eau sous pression dans les boîtes de distribution E. L'obliquité des arêtes de la plaque R′ sert à rendre moins brusques les mouvements d'ouverture et de fermeture.

En résumé, si l'on manœuvre à l'aide d'un levier le tiroir-registre R et la plaque R′ qui fait corps avec lui, on produit l'introduction à droite ou à gauche du piston de manœuvre p, dont le déplacement est transmis par l'arbre A′ aux plaques J de chaque cylindre. On détermine ainsi le sens et la vitesse de la rotation du moteur, et par suite on règle le sens et la vitesse du pointage en direction de la tour et des pièces.

Les dispositions précédentes sont complétées par la boîte Q (vue 1), qui renferme une soupape de choc maintenue par le ressort r.

§ 389. **Couronne d'eau.** — La tour du *Tonnerre* contient,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

comme celle du *Vengeur*, deux pièces ayant leurs axes parallèles et manœuvrées à l'aide de presses hydrauliques.

La couronne d'eau qui, malgré la rotation de la tour, permet à l'eau sous pression d'arriver à ces appareils et de retourner au réservoir de la machine de pompage après avoir travaillé, présente quelques particularités, que nous allons décrire.

Le pivot fixe P (fig. 3) de la tour est creux, et donne passage à une échelle pour la circulation des hommes. Vers sa partie supérieure il est entouré à des hauteurs différentes par deux cercles I et E, en fonte, fixés au pivot P par des boulons. Chacun de ces cercles porte une chemise extérieure en bronze b, autour de laquelle est capelée, à frottement doux, une couronne en bronze c ou c' rendue étanche par les garnitures p ou p' serrées au moyen des griffes g, g.

Ces couronnes en bronze présentent intérieurement un évidement annulaire i ou e. Dans l'évidement i arrive constamment l'eau sous pression par le tuyau A, venant de la machine de pompage et traversant la paroi du pivot auquel il est fixé ; de l'évidement e, part de la même façon le tuyau K de retour d'eau au réservoir de la machine de pompage.

Les deux couronnes c et c' tournent avec la tour, qui les entraîne à l'aide des bielles b', ..., b'. Le tuyau J conduit l'eau sous pression de la couronne c à la boîte à tiroir commune du pointage en hauteur et de mise en batterie de chaque pièce. Le tuyau D amène dans la couronne c' l'eau qui vient de travailler dans les presses de la tour.

Chaque pièce comporte un réservoir auxiliaire R (fig. 2) recevant l'eau d'évacuation de ses tiroirs ainsi que de ses soupapes de recul.

§ 390. **Pointage en hauteur.** — Le pointage en hauteur (fig. 2) est produit par l'oscillation du châssis F autour d'un axe M placé à l'arrière de la pièce, sous l'effort d'une presse simple. Le cylindre G de cette presse est placé à l'AV sous le châssis et fixé à la plate-forme de la tour. Le piston plongeur N pénètre dans ce cylindre à travers un presse-étoupe garni d'un cuir en U. Il est creux, et guidé intérieurement par un boulon H fixé au fond du cylindre, et dont la tête limite la course du piston haut et bas. La tête du piston N est articulée au sabot S fixé sous l'entretoise AV du châssis.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le tuyau V fait communiquer la presse G à l'orifice 2 (fig. 5) de la glace du tiroir T de pointage en hauteur placé dans la boîte B commune à ce tiroir et au tiroir T′ du § 391. Chaque tiroir se manœuvre à l'aide d'un levier parcourant un arc gradué, sur lequel sont marquées les positions principales du tiroir et les dixièmes d'ouverture des orifices.

En quittant la couronne d'eau supérieure, le tuyau d'arrivée d'eau sous pression se bifurque; le tuyau J′ se dirige vers la boîte à tiroirs de la pièce de droite, et le tuyau J vers la boîte à tiroirs B de la pièce de gauche; il aboutit là à un conduit intérieur qui amène par un orifice 0 (fig. 5) l'eau dans chacun des compartiments des tiroirs T et T′.

La glace du tiroir T n'a que deux orifices, savoir : l'orifice 2 communiquant par le tuyau V (fig. 2) avec la presse G; et l'orifice 1 d'évacuation, communiquant avec l'orifice 1′ d'évacuation du tiroir T′ de mise en batterie, et par le tuyau commun L d'évacuation, avec la caisse réservoir R (chaque pièce a sa caisse).

Si l'on élève le tiroir T, l'orifice 2 est découvert; l'eau sous pression s'introduit par le tuyau V dans le cylindre G, et par suite sous le piston N; ce dernier, sortant de son cylindre, élève le châssis F, jusqu'à ce qu'on ferme par la manœuvre du tiroir l'orifice 2; ou, si on le laisse ouvert, jusqu'à ce que la tête *t* du boulon H vienne buter en *a*.

Si l'on abaisse le tiroir T, sa coquille fait communiquer les orifices 1 et 2; et l'eau chassée de la presse par le poids de la pièce s'évacue à travers le tuyau V, l'orifice 2, la coquille du tiroir T, l'orifice 1 et le tuyau L dans la caisse réservoir R. Le châssis descendra jusqu'à ce que l'orifice 2 soit fermé par la manœuvre du tiroir; ou, si on le laisse ouvert, jusqu'à ce que le haut du piston N vienne appuyer sur le tête *t* du boulon H.

Le tiroir placé à demi course ferme l'orifice : c'est la position de tir.

§ 391. **Mise en batterie et au recul.** — La mise en batterie ou au recul s'opère au moyen d'une seule presse Q (fig. 2); elle est simple, à double effet et fixée au châssis, entre les deux poutrelles et dans le plan vertical de la pièce. Elle constitue aussi le frein hydraulique pour le tir.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le piston P′ porte deux garnitures en cuir embouti ; et sa tige X, dont la section est la moitié de celle du piston, est boulonnée à une oreille *o* fixée à l'entretoise avant de l'affût.

La face arrière du piston est en communication avec la boîte à tiroir B par le tuyau *y* aboutissant à l'orifice 4 (fig. 5) ; et la face avant communique par le tuyau Z à l'orifice 3, qui ne peut qu'être ouvert à l'introduction ou fermé.

Si l'on élève le tiroir T′ à l'aide du levier de manœuvre, sa coquille met en communication les orifices 1′ et 4. La face avant du piston P′ communiquant avec l'arrivée d'eau sous pression par le tuyau Z et l'orifice 3, que le tiroir ne fait jamais communiquer à l'évacuation, le piston P′ marchera vers l'arrière ; et la pièce viendra au recul. L'eau chassée par la face arrière du piston s'évacuera à la caisse R par le tuyau *y*, l'orifice 4, la coquille du tiroir T′, l'orifice 1′ et le tuyau L.

Si l'on abaisse le tiroir T′, il découvre l'orifice 4. Les deux faces du piston P′ reçoivent l'eau sous pression ; mais, à cause de la différence de section, le piston marche vers l'avant, entraînant l'affût et la pièce C, qui est ainsi mise en batterie.

Pour le tir, le tiroir T′ est placé de façon à fermer les deux orifices 3 et 4. Sous l'effort du recul, la face AR du piston refoule l'eau contenue dans le cylindre. Cette eau ne pouvant retourner à la boîte à tiroir dont l'orifice 4 est fermé, soulève les soupapes de recul *s* (au nombre de quatre), en comprimant les ressorts *r*, dont la tension est réglée pour le recul qu'on veut obtenir ; et elle évacue au réservoir R par le tuyau *d*. La face avant du piston P′ laisse un vide, qui est comblé par de l'eau qui de la caisse R est refoulée par la pression atmosphérique dans le tuyau *f*, en soulevant la soupape d'aspiration *m*.

§ 392. **Tuyautage.** — Toutes les évacuations débouchent dans le haut de la caisse R (fig. 2) ainsi que son tuyau de déversement ; tandis que le tuyau d'aspiration *f*, dont nous venons de parler, part du bas. Cette disposition a pour but de conserver toujours le réservoir plein.

Le tuyau *g′* sert à faire écouler l'eau qui peut se trouver sur les soupapes *s*.

Les tuyaux *n*, *n′* de déversement des deux caisses se réunissent en un seul D, qui, après avoir reçu les deux tuyaux de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

purge des soupapes de recul s, aboutit à la couronne d'eau inférieure.

§ 393. — **Joint à rotule**. — La presse Q (fig. 2) de mise au recul étant reliée au châssis qui possède un mouvement d'oscillation autour de l'axe M, les tuyaux Y et Z, qui vont des deux bouts de cette presse à la boîte à tiroir B fixe, passent par un joint à rotule j' placé dans l'axe d'oscillation. Pour la même raison, les tuyaux d'évacuation d et g', ainsi que le tuyau d'aspiration f, sont en caoutchouc sur une partie de leur longueur.

§ 394. **Coussins**. — La position horizontale, ou position de repos de la pièce, correspondant à la demi-course de la presse G (fig. 2) de pointage en hauteur, on soutient le châssis dans cette position au moyen de deux coussins en bois placés un peu à l'arrière de cette presse, et sur lesquels reposent les deux longrines F du châssis. Pour la manœuvre, on les enlève tous deux en même temps au moyen du mécanisme suivant :

Les deux coussins h et h' (fig. 4) portent chacun un bras l, l' pivotant en q et q'. Deux bielles x et x' sont articulées d'une part sur chacun des coussins en v et v', et d'autre part aux extrémités d'un levier y pouvant tourner autour de son centre k. Il n'y a donc qu'à faire tourner le levier y, à l'aide de poignées, pour que tout le mécanisme passant de la position primitive à la position représentée en pointillé sur la figure, les deux coussins soient retirés de dessous le châssis.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

4E PIE. — CHAPITRE IV

HYDRAULIQUES DE MANŒUVRE DE LA CULASSE MOBILE DES CANONS DE 42cm.

§ 395. **Programme.** — Avec les dimensions énormes adoptées aujourd'hui pour quelques bouches à feu, on a dû recourir à de puissants moyens pour manœuvrer la culasse mobile, dont le poids est considérable ; et l'on s'est adressé à l'hydraulique. Nous allons donner comme exemple la disposition employée à bord du *Terrible* pour le canon de 42cm Mle 1875. Elle est représentée planche XIX.

Le culasse étant supposée fermée, rappelons que pour l'ouvrir on doit lui imprimer les trois mouvements suivants :

1° Rotation autour de l'axe de 1/6 de tour, afin que les parties filetées de la culasse viennent en face des parties lisses de l'âme ;

2° Mouvement de translation rectiligne, pour retirer la culasse de la pièce ;

3° Rotation autour de l'axe de la console, pour démasquer l'âme et rendre le chargement possible.

La fermeture s'obtient en exécutant les mêmes mouvements dans l'ordre inverse.

§ 396. **Mécanisme.** — La force nécessaire est fournie par deux presses hydrauliques à simple effet S, S′ (fig. 1 et 2), dont les pistons sont attachés aux extrémités d'une chaîne-galle R, sur laquelle ils agissent par traction. La presse S sert pour obtenir la fermeture de la culasse, S′ pour l'ouverture. La chaîne actionne un pignon P faisant corps avec un arbre en acier a. Ce dernier est muni d'une encoche à sa partie supérieure.

L'arbre AA′, qui sert d'axe à la console C, porte en bas une ma-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nivelle, dont le bouton s'engage dans cette encoche quand la pièce est en position de chargement. En haut est calé un pignon P′ à dents hélicoïdales.

La culasse mobile est munie de deux dentures différentes (fig. 8) : l'une dd' est circulaire et s'étend sur 1/6 de circonférence environ ; l'autre $d'd''$ est rectiligne ; elle forme suite à la première et constitue une crémaillère. Le pignon P′ (fig. 2 et 6) engrenant successivement dans chaque denture, imprime à la culasse une rotation suivie d'un mouvement de translation.

La console C est folle sur l'arbre AA′. Dans son intérieur est disposé un verrou vertical V (fig. 4, 7 et 11), muni d'un ressort à boudin, et présentant à sa partie supérieure un talon en biseau destiné à s'engager dans une encoche de la culasse. Le verrou est muni latéralement d'un crochet qui vient s'agrafer dans une saillie, que porte une pièce m fixée à demeure au canon. Enfin un contre-verrou horizontal V′ (fig. 10), poussé par un ressort à boudin, se termine par un doigt, qui peut s'engager dans une encoche correspondante du verrou V ; ce doigt vient buter contre la saillie de la pièce fixe m.

397. **Fonctionnement.** — *Ouverture.* La culasse étant supposée fermée, pour l'ouvrir, on met en fonction la presse S′ (fig. 2) ; la chaîne-galle fait tourner le pignon P et l'arbre a. Le pignon P′ est mis aussitôt en mouvement ; et ses dents engrenant avec la portion circulaire dd' (fig. 8) de la denture de la culasse mobile, impriment à celle-ci un premier mouvement de rotation.

Le pignon P′, continuant à tourner, quitte la portion circulaire, et engrène avec la crémaillère $d'd''$; la culasse mobile est alors entraînée en arrière suivant un mouvement rectiligne. Le verrou V (fig. 4 et 7), qui se trouvait abaissé, se relève par l'action de son ressort, quand son talon se trouve vis-à-vis de l'encoche ; et il s'y engage. En même temps, son crochet latéral abandonne la saillie m qui le retenait. Le doigt du contre-verrou V′ s'introduit dans l'encoche du verrou V, qui est ainsi immobilisé pour tout le temps que la culasse reposera sur la console.

Le pignon P′, continuant encore à tourner, arrive à l'extrémité d'' de la crémaillère, où il rencontre une partie pleine qui forme butoir ; la console prend alors un mouvement de rotation qui cesse de lui-même au bout d'un quart de tour.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 398 **Fermeture.** — La charge étant terminée, pour obtenir la fermeture, on met en action la presse hydraulique S (fig. 1) ; et les mouvements s'opèrent en sens inverse de ceux que nous venons de décrire par l'intermédiaire du pignon P′ (fig. 2), qui est entraîné du côté opposé. Vers la fin du premier mouvement, le doigt du contre-verrou V′ (fig. 7) vient buter sur la saillie *m ;* il est repoussé en arrière, et le verrou V devient libre. La culasse mobile, en glissant sur la console pour rentrer dans son logement, chasse le verrou dont le crochet latéral s'engage en *m*. La console se trouve ainsi fixée au canon.

Comme on le voit, les trois mouvements nécessaires, soit pour l'ouverture, soit pour la fermeture, sont obtenus par la rotation du pignon P′, dans un sens ou dans l'autre, sous l'action des deux presses hydrauliques.

Pour empêcher tout mouvement de la plate-forme pendant qu'on charge la pièce, on a disposé un contre-verrou *x* (fig. 1 et 2) commandé par une chaîne *f*, mise en mouvement au moyen d'un levier *l*. Celui-ci est articulé à un point fixe *u*, et passe dans une ouverture qui traverse la tige du piston de la presse S. Quand la presse agit pour fermer la culasse, le levier *l* se trouve abandonné, et vient buter contre un massif en bois *q ;* le contre-verrou est désemparé par l'action d'un contre-poids *r* (fig. 3).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

CINQUIÈME PARTIE

FUSILS

5E PIE. — CHAPITRE I

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

§ 399. **Recul.** — Une arme à feu portative doit remplir les conditions suivantes : légèreté, chargement rapide et simple, justesse de tir. Il est important, en outre, que le recul ne soit pas trop fort.

L'intensité du recul se calcule par la formule

$$Pv = pV\left(1 + \frac{\pi}{2p}\right),$$

dans laquelle P représente le poids du fusil, p celui de la balle, π celui de la charge, V la vitesse initiale, v celle du recul.

Après de nombreuses expériences on a adopté les valeurs suivantes :

$$Pv = 12^{kg},500,$$
$$P = 4^{kg};$$

d'où :

$$v = 3^{m},12.$$

Le tableau ci-après indique les données relatives à quelques modèles de fusils :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DÉSIGNATION des ARMES	POIDS de l'arme P	POIDS de la balle p	POIDS de la charge π	VITESSES initiale V	VITESSES de recul v	Pv
	kg.	gr.	gr.	mèt.	mèt.	
Fusil. . . . . Carabine. . . Modèle 1874. Mousqueton..	4,200	25,0	5,25	450	2,95	12,4
	3,560	»	»	440	3,39	12,1
	3,260	»	»	417	3,53	11,5
Fusil Martini-Henry	3,970	31,1	5,50	416	3,55	14,1
— Mauser allemand. . . .	4,500	25,0	5,00	440	2,69	12,1
— Weterli italien	4,100	20,0	4,00	430	2,32	9,5
— Berdan n° 2	4,360	24,1	5,06	442	2,74	11,8
— Werndl	4,170	24,0	5,00	438	2,78	11,6
— Modèle 1878, Marine. .	4,500	25,0	5,25	450	2,75	12,4
— Weterli suisse.	4,700	20,4	3,75	435	2,06	9,7

La valeur du produit Pv ne suffit pas pour donner une idée exacte de l'impression produite sur l'épaule par le recul, et il faut surtout se baser sur la vitesse v de recul. Cette valeur doit être très peu différente de 3^m. Comme on le voit dans le tableau précédent, ce chiffre est beaucoup dépassé dans le mousqueton 74 et le fusil Martini-Henry, qui donnent un recul très pénible.

§ 400. **Balles.** — Dans un fusil, les propriétés balistiques, c'est-à-dire la tension de la trajectoire, la justesse du tir, la portée et la force de pénétration, se trouvent limitées par le poids de l'arme et le recul. Si l'on prend pour valeur maxima de l'effet à supporter le nombre 12,500, on a

$$12{,}500 = pV\left(1 + \frac{\pi}{2p}\right).$$

Dans cette formule on peut faire varier p et V, de manière à obtenir soit une balle légère avec une grande vitesse initiale, soit une balle lourde avec une faible vitesse.

Pour avoir une bonne portée, et pour conserver la vitesse aux grandes distances, il faut adopter une balle un peu lourde, qui est moins soumise aux influences atmosphériques et à la résistance de l'air. En ce cas, on sacrifie la tension de la trajectoire dans les petites distances. Mais si l'on veut une grande tension de trajectoire aux petites distances, il faut donner à la balle un poids faible ; de cette façon le projectile perd rapidement sa

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

vitesse, et sa justesse aux grandes distances est un peu compromise.

L'Angleterre a adopté la première solution, et les autres états européens la seconde.

On cherche en ce moment à concilier ces deux conditions en réduisant le calibre ; ce qui permet, avec une charge variant de 1/4 à 1/5 du poids du projectile, de tirer une balle légère mais ayant un grand poids par unité de section. Un pareil projectile animé d'une grande vitesse conservera sa vitesse, et donnera une longue portée avec une grande tension de trajectoire à toutes les distances.

§ 401. **Forme de la balle.** — La longueur des balles varie entre 2,5 et 3 calibres, et peut même aller jusqu'à 3,5, pour augmenter la trajectoire dans les armes de petit calibre.

Dans le fusil, M^le 74, la balle a une longueur de 27^mm, soit environ 2,5 calibres. La balle du fusil Martini-Henry en plomb durci a 2,8 calibres ; celle du nouveau fusil Rubin a 3,5 calibres.

Le corps de la balle est cylindrique ou tronconique. La partie antérieure est une ogive tronquée par un méplat ou terminée à son sommet par un arc de cercle. La forme de l'ogive est déterminée par la nécessité de diminuer autant que possible la résistance de l'air. La figure 48 donne différents modèles de projectiles.

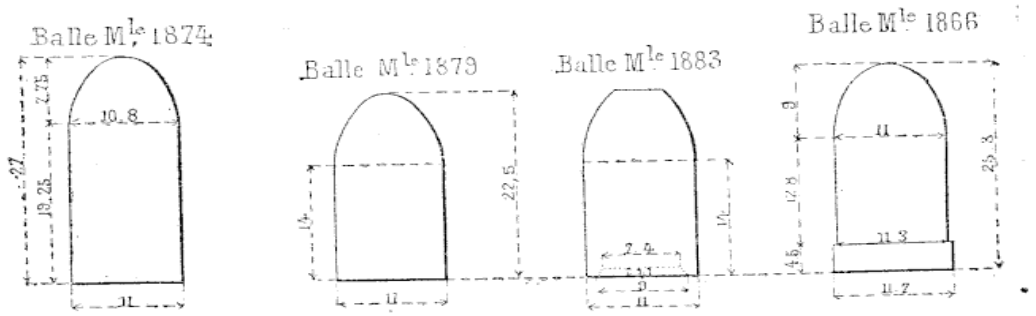


Fig. 48.

La balle de 1883, qui est en plomb durci, possède à l'arrière un évidement tronconique destiné à faire pénétrer le métal dans les rayures du fusil.

La balle Rubin (fig. 49), qui offre une disposition toute particulière, donne de très bons résultats. Sa forme se rapproche

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

beaucoup de celle des projectiles d'artillerie ; elle est recouverte d'une chemise en cuivre de $0^{mm}3$, et présente à l'arrière de sa partie ogivale une couronne de centrage de 4^{mm} de longueur ; puis une incurvation suivie d'une ceinture de forcement formée par une augmentation de diamètre dans sa partie inférieure. Cette balle donne une vitesse initiale de 565 mètres. Elle ricoche après avoir rencontré le sol, et augmente ainsi l'étendue de la zone d'action.

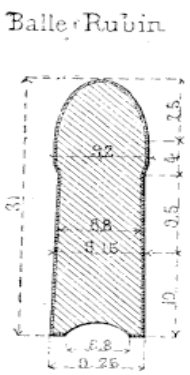


Fig. 49.

La balle M^le 1883 à méplat a été adoptée à la suite de nombreuses expériences ; elle offre dans les armes à répétition l'avantage de diminuer beaucoup les déformations que subissent les projectiles placés dans le magasin.

§ 402. **Métal à employer.** — Le plomb pur se déformant trop sous la pression des gaz se moule irrégulièrement dans le canon, et la balle perdant sa symétrie, la justesse du tir se trouve compromise. On a renoncé à l'emploi de ce métal seul depuis quelques années ; et l'on se sert de plomb durci par le zinc, l'étain ou l'antimoine. Les balles ainsi obtenues peuvent avoir jusqu'à 3 calibres, longueur qui donne beaucoup de justesse, avec une conservation très grande de la vitesse.

En France, on préfère l'antimoine à l'étain malgré sa densité plus faible (6,71 au lieu de 7,29), parce que l'antimoine, à égale proportion, donne un alliage deux fois plus dur que l'étain. C'est en outre un métal onctueux, qui diminue le frottement de la balle dans le canon. Sous l'action d'un choc, les projectiles de cette nature se déforment moins et plus régulièrement que le plomb additionné de zinc ou d'étain.

§ 403. **Fabrication des balles.** — Les balles sont obtenues au moyen de coulée simple, de coulée suivie de compression, ou enfin par étirage à la filière suivi de compression.

On a abandonné les deux premières méthodes, qui donnent à la balle une forme peu régulière avec des défauts nombreux d'homogénéité. On n'emploie plus que le troisième système, qui procure des résultats très supérieurs pour les balles à méplat.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 404. **Chemises.** — Dans le but d'augmenter la pénétration, on a essayé des balles recouvertes d'une chemise de cuivre. Les résultats sont tels que ces dernières ont été désormais adoptées. Le tableau suivant donne une idée de la grande supériorité des balles à enveloppe de cuivre sur celles en plomb durci, et, à plus forte raison, sur les balles M^le 74.

Tir exécuté à 200 mètres contre un madrier en chêne de 0m,26 d'épaisseur.

BALLES	PÉNÉTRATION	OBSERVATIONS
Balle M^le 74 en plomb mou	4cm	Les balles recueillies dans le bois étaient complètement déformées.
Balle M^le 79 durcie à 5 p. 100 d'antimoine.	7cm	
id. avec enveloppe de cuivre . . .	18cm	Les balles n'avaient subi aucune déformation.
id. avec enveloppe de laiton. . . .	21cm	

On voit, d'après ce tableau, combien les balles à enveloppe de cuivre ou de laiton sont supérieures aux autres.

Ces projectiles ont encore l'avantage de permettre la suppression du calepin en papier et du graissage, en conservant seulement le lubrificateur dont nous verrons l'usage plus loin. Enfin, il faut ajouter qu'elles donnent une plus grande justesse au tir.

§ 405. **Canon du fusil.** — L'intérieur du canon est généralement cylindrique; mais dans quelques fusils, comme ceux de Martini-Henry, de Berdan n° 2, l'âme est légèrement tronconique, et présente un diamètre plus grand à la culasse qu'à la bouche. Cette disposition facilite le déplacement initial du projectile, empêche son gonflement prématuré, diminue, par suite, les effets du choc de la poudre, et assure à la balle un mouvement plus régulier dans les rayures.

§ 406. **Rayures.** — Toutes les armes actuellement en service sont à rayures hélicoïdales ou à pas constant. Les essais que l'on a faits plusieurs fois sur les rayures paraboliques ou à pas croissant n'ont donné que des résultats peu satisfaisants.

La profondeur des rayures doit être telle que le forcement soit complet, sans pourtant être trop énergique, ce qui expose à des plombages fréquents. Il peut arriver que des rayures trop profondes ne soient pas remplies par le métal refoulé et que des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pertes de gaz se produisent. Pour une même longueur de projectile, les rayures doivent être d'autant moins profondes que le métal de la balle est plus dur. Ainsi, les profondeurs de rayures pour le plomb mou sont de $0^{mm},3$; elles ont $0^{mm},15$ pour le plomb durci.

Les fusils M^{les} 74 et 78, construits pour tirer des balles en plomb comprimé, ont des rayures présentant $0^{mm},25$ de profondeur, quantité un peu forte pour la balle en plomb durci qu'emploient maintenant ces mêmes armes.

Dans certains fusils, la profondeur des rayures va en diminuant vers la bouche. Avec ces rayures *progressives*, on perd un peu de vitesse initiale, mais on obtient une grande justesse.

La largeur des rayures doit être suffisante pour que les cannelures produites sur la balle puissent la guider sans être arrachées. Dans toutes les armes adoptées en France, les pleins sont égaux aux vides.

L'influence du tracé des rayures est très difficile à définir ; et des résultats identiques ont été obtenus avec des tracés fort différents. Il faut que la balle se moule bien dans la rayure et ne puisse lui échapper. Pour remplir cette condition, le fond ne doit pas présenter d'angles rentrants où le métal pénétrerait avec peine. Avec le plomb mou, les bords de la rayure doivent être assez vifs pour mordre facilement le métal et l'empêcher de s'échapper en se laminant. Avec une balle en plomb durci, peu susceptible de se déformer, il y a avantage à ce que les bords de la rayure présentent au contraire un angle adouci.

Voici quelques exemples de tracés.

§ 407. **Tracé en forme de croix.** — Dans le fusil modèle 1866, les 4 rayures sont hélicoïdales de droite à gauche, avec un pas de $0^{m},55$. Leur profondeur est uniforme et de $0^{mm},3$; leur largeur a $4^{mm},32$, les vides étant presque égaux aux pleins ; la direction des flancs est parallèle au rayon qui aboutit au milieu de la rayure (fig. 50).

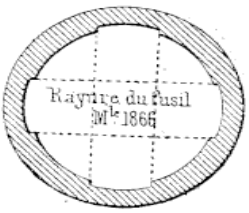


Fig. 50.

Cette rayure étant un peu profonde pour les fusils M^{le} 1874-1878, auxquels on voulait adapter des balles en plomb durci, la même largeur a été conservée aux rayures ; mais la profondeur a été diminuée de $0^{mm},05$; et les flancs, au lieu de présenter des arêtes vives, ont été formés

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par un arc de cercle de $0^{mm},5$ de rayon raccordant l'âme avec le fond de la rayure (fig. 51, 52).

Fig. 51.

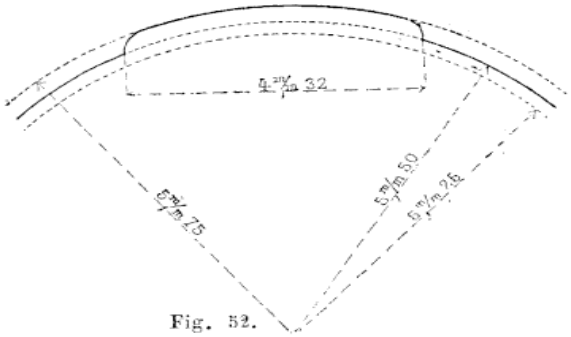


Fig. 52.

Les rayures des fusils Mauser et Wetterli ont à peu près les mêmes dispositions; le nombre des rayures est de 4; mais elles sont dirigées de gauche à droite.

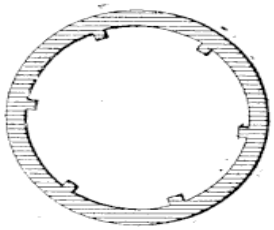


Fig. 53.

§ 408. **Tracé à côtes.** — Dans ce système, les vides sont bien plus grands que les pleins. Le Berdan russe est rayé d'après ce procédé (fig. 53).

§ 409. **Tracé Martini-Henry.** — Le tracé Martini-Henry

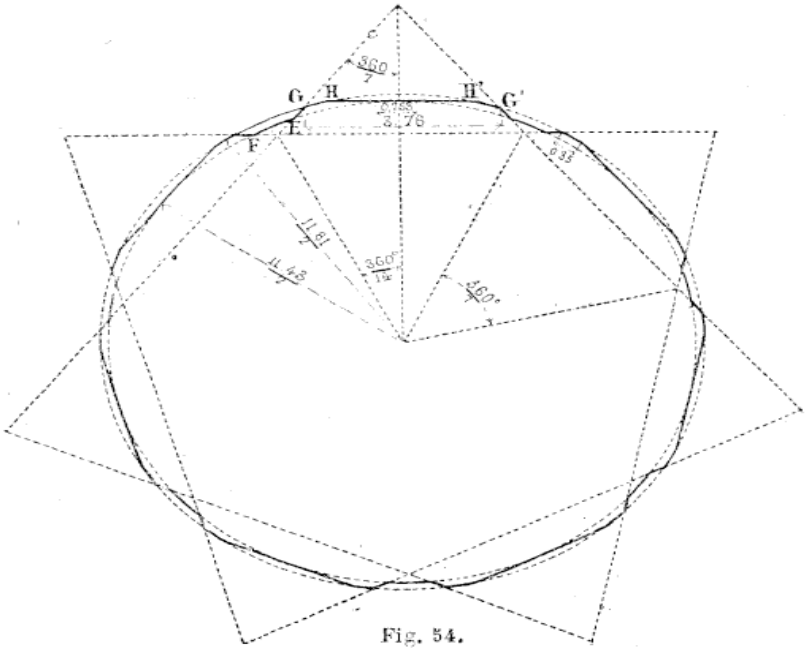


Fig. 54.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est formé par un polygone étoilé à 7 côtés dont les sommets sont abattus; cette disposition est représentée en détail fig. 54, 55. Beaucoup de personnes regardent cette rayure comme parfaite, et lui attribuent la précision du fusil Martini-Henry. Mais la commission de Vincennes, qui a essayé ces rayures dans notre fusil, n'a constaté aucune supériorité sur celles qu'on a adoptées jusqu'à présent, où les pleins sont égaux aux vides.

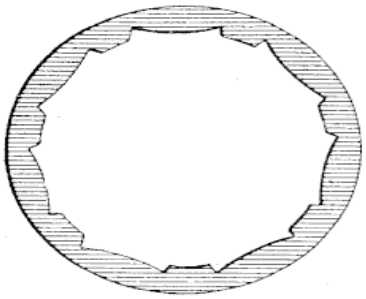


Fig. 55.

La qualité du fusil Martini est due plutôt à l'ensemble des éléments qui constituent l'arme.

§ 410. **Tracé à dents de scie.** — Avec ce système (fig. 56), la balle se moule très facilement dans les rayures; leur nombre et leur profondeur varient avec la dureté du métal. Les angles rentrants ne doivent pas être trop vifs; le flanc directeur doit être allongé et incliné en pente douce. Ces rayures donnent aux expériences de très bons résultats, et ont le grand avantage d'être d'une exécution très facile.

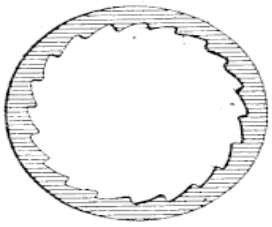


Fig. 56.

§ 411. **Tracé elliptique de Lancaster.** — Dans l'arme Lancaster (fig. 57), la section du canon est une ellipse; et l'âme est formée par le déplacement de cette courbe, dont chaque sommet se meut suivant une hélice. La différence entre le grand et le petit axe est de $0^{mm},36$.

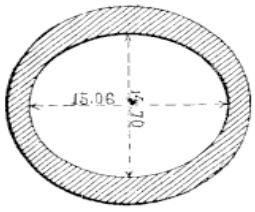


Fig. 57.

Petit axe, $14^{mm},70$; grand axe, $15^{mm},06$.

§ 412. **Tracé polygonal ou de Withworth.** — La section de l'âme est un hexagone dont chaque sommet décrit une hélice à pas constant (fig. 58).

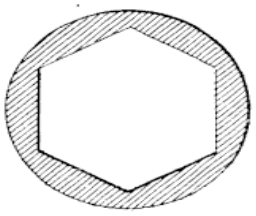


Fig. 58.

§ 413. **Comparaison des divers systèmes de rayures.** — Les rayures ont à satisfaire à deux conditions contradictoires. Pour que la balle subisse un faible épa-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nouissement, il faut diminuer les vides; mais, d'un autre côté, pour qu'elle soit bien centrée et ne puisse franchir les rayures, il est nécessaire que celles-ci soient profondes, larges ou nombreuses.

En France et en Allemagne, on a concilié ces deux conditions opposées, en adoptant 4 rayures présentant une profondeur comprise entre 2 ou 3 dixièmes de millimètre, les vides étant égaux aux pleins ; ce qui correspond pour la balle à un épanouissement de 4 à 5 p. 100.

En Autriche, en Russie et en Espagne, on a, au contraire, adopté des rayures dans lesquelles les vides sont supérieurs aux pleins. Dans ce tracé, les cloisons forment à l'intérieur du canon des côtes saillantes, qui s'impriment dans la balle, la saisissent parfaitement et l'empêchent de s'échapper. La balle semble ainsi mieux dirigée ; mais elle subit un épanouissement de 6 à 7 p. 100.

La rayure anglaise semble participer aux avantages des deux systèmes précédents, sans en avoir les inconvénients. Elle comporte, comme on l'a vu § 409, 7 rayures et 7 cloisons saillantes. L'épanouissement de la balle n'est que de 2 p. 100, parce que le fond de la rayure, au lieu d'être concentrique à l'âme, affecte une forme un peu convexe; la rayure n'a pas une profondeur constante dans toute sa section : elle est nulle au milieu et a $0^{mm},19$ vers les bords.

§ 414. **Sens des rayures**. — Pour les armes où la résultante des actions déviatrices n'a pas une direction bien déterminée en dehors du plan de tir, il est d'usage de faire tourner les rayures de gauche à droite, pour contrebalancer l'écart dû au défaut qu'ont les tireurs peu exercés de pencher l'arme à gauche afin de rapprocher le cran de mire de l'œil dans le tir aux grandes distances.

Pour l'arme à verrou, et en général pour celles qui ne sont pas symétriques, il se produit une déviation tantôt à droite, tantôt à gauche, suivant la longueur du canon; il y a donc intérêt à produire la dérivation du côté opposé. Ainsi les fusils 1874 et 1878, qui dévient à droite, sont rayés à gauche ; tandis que le mousqueton d'artillerie, qui dévie en sens contraire, est rayé à droite. C'est aussi pour corriger, en partie, le déplacement latéral à droite causé par le pivotement du tireur sur lui-même, qu'on avait, dans le fusil 1866, adopté les rayures de droite à gauche.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 415. **Lubrificateur.** — Le *lubrificateur* ou *bourre* sert à produire automatiquement le nettoyage de l'arme, c'est-à-dire à enlever les résidus laissés par la combustion de la poudre. La bourre joue aussi le rôle plus important de tampon de choc. Elle s'écarte au moment du départ et transmet à la balle le choc après l'avoir adouci. Celle-ci se déforme moins et reçoit à sa base un corps qui se moule sur elle, et lui sert de guide pour sortir bien droit de l'étui. La bourre est formée actuellement d'un mélange de cire et de suif; la cire convient très bien à cet usage en régularisant la pression des gaz.

§ 416. **Calepin.** — La balle est entourée d'un calepin : c'est une enveloppe en papier, qui empêche le plombage en isolant la balle d'avec l'âme, et produit en même temps le nettoyage du canon.

§ 417. **Graissage.** — La graisse qui recouvre les balles sert à lubrifier l'âme et à enlever les dépôts de plomb ou de crasse qui peuvent se former. La graisse à base de suif, employée dans les cartouches 74, se décompose en présence du plomb et n'adhère plus à la balle. En outre, elle attaque le métal de l'étui et produit des ruptures au collet.

Dans les cartouches M^le^ 79-83, on emploie un mélange de paraffine et de cire, qui est très élastique et se conserve longtemps, sans découvrir le métal et sans attaquer l'étui.

§ 418. **Modes de fermeture de culasse.** — Dans les fusils se chargeant par la culasse, les divers modes de fermeture peuvent se classer en deux catégories :

1° Culasse glissante;

2° Culasse tournant autour d'un axe.

Dans la première catégorie on trouve :

1° Les armes où la pièce de fermeture glisse parallèlement à l'axe du canon, et qu'on appelle *armes à verrou;*

2° Les armes dont la pièce de fermeture glisse perpendiculairement à l'axe du canon.

La seconde catégorie comprend :

1° Culasse tournant autour d'un axe parallèle à celui du canon. Quand l'axe est au-dessous du canon l'arme est *à barillet*. Quand il est au-dessus, elle est *à tabatière*.

2° Culasse tournant autour d'un axe perpendiculaire au canon.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quand l'axe est en avant et au-dessus, l'arme est *à pène*. Quand l'axe est en arrière et au-dessous, l'arme est *à culasse tombante*. Les armes de cette classe sont désignées sous le nom *d'armes à bloc*.

Nous donnerons plus loin quelques exemples de ces différents systèmes.

Quel que soit le mode adopté, le rôle de la pièce de fermeture n'est pas de boucher hermétiquement l'arme pour empêcher les fuites de gaz, mais de maintenir en place l'étui métallique de la cartouche qui produit lui-même l'obturation.

Chaque système a des avantages et des inconvénients qui se résument comme il suit :

Les armes à verrou présentent un inconvénient provenant du défaut de symétrie de la fermeture, qui exerce une influence sur la justesse du tir.

Lá mise de feu est produite par le percuteur. Avec le système à verrou, cette pièce doit traverser le bouchon. C'est une infériorité du verrou, parce que, en cas de fuite, les gaz peuvent être projetés à la figure du tireur.

Quand le coup est parti, il faut extraire l'étui, qui a été fortement serré dans le logement par la pression du gaz. C'est le but de l'extracteur. Le verrou a l'avantage que son mouvement, qui se fait suivant l'axe du canon, entraîne facilement la douille.

Avec le verrou, le chargement est facile et rapide.

Dans les armes à culasse tournant autour d'un axe, le mécanisme de percussion est généralement assez court, il en résulte que la détente doit être dure pour assurer la percussion. L'extraction est peu énergique. Le chargement est moins rapide et moins facile qu'avec le verrou. Mais ces armes présentent généralement l'avantage d'une fermeture symétrique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

5E PIE. — CHAPITRE II

TIR

Avant de passer à l'étude des différents modèles de fusil, nous allons exposer quelques principes théoriques sur le tir. Ces notions se rattachent du reste à celles que nous avons développées au sujet de l'artillerie (PREMIÈRE PARTIE).

§ 419. **Tension de la trajectoire.** — La tension de la trajectoire est une qualité essentielle dans une arme de guerre. C'est de là que dépend l'étendue de la zone dangereuse.

Considérons, en effet, la fig. 59 ; supposons que l'on tire du point A sur une cible CC′ placée à la distance A′C′. Soit AHD la trajectoire d'une balle passant par le centre O de la cible. Menons par C une parallèle MN au terrain ; la cible ne sera atteinte qu'entre les limites MP et ND. La distance PD constitue donc la zone dangereuse ; et l'on voit que cette étendue est d'autant plus grande que l'angle ω est plus petit. Si, par exemple, la flèche maximum *f* est mesurée par OC, la zone dangereuse devient égale à A′E. On voit par là quel avantage il y a à augmenter la tension de la trajectoire.

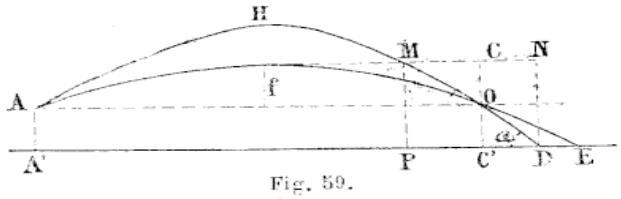


Fig. 59.

§ 420. **Détermination pratique de la forme de la trajectoire.** — Pour déterminer en pratique la forme de la trajectoire, on se sert d'un écran. Le tireur appuie son arme sur un support, et vise le centre d'une cible placée par exemple à 500m. L'écran est porté successivement aux différentes distances où

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'on veut avoir les coordonnées de la courbe; et l'on doit tirer autant de balles que l'on désire connaître d'ordonnées.

Soit un écran e placé à 100^m (fig. 60); il est traversé en a par le projectile qui frappe la cible en I. Joignons AI par une droite : cette ligne rencontre l'écran en a'; on peut mesurer la longueur aa'. En opérant de même pour chaque déplacement de l'écran, on obtient les hauteurs mm', pp', auxquelles la balle passe, pour chaque distance de l'écran, au-dessus de la ligne qui joint le point de départ au point d'arrivée ; et l'on construit la trajectoire de 500^m avec une approximation suffisante.

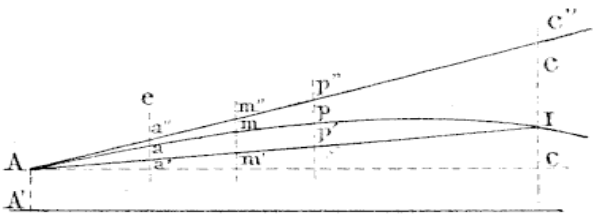


Fig. 60.

On peut calculer aussi les quantités dont la balle s'est abaissée au-dessous de la ligne de tir. Marquons en effet le point a'' où l'axe du canon prolongé viendrait rencontrer l'écran e placé à 100^m, on obtient ainsi la longueur $a'a''$; et, par les triangles semblables, on peut calculer les distances analogues $m'm''$, $p'p''$, etc. ; par différence, on mesure les hauteurs de chute $a''a$, $m''m$, $p''p$, etc.

§ 421. **Angle de relèvement.** — Rappelons la définition qui a été donnée dans la partie consacrée à la Balistique. L'angle de relèvement est la différence entre l'angle de vitesse initiale du projectile et l'angle de tir ; il est dû au mouvement de recul de l'arme, qui commence à se produire avant la sortie du projectile. Il se calcule d'une façon analogue à celle que nous avons exposée § 22.

Avec les armes à magasin, le relèvement se modifie pendant le tir à répétition à mesure que la provision de cartouches diminue ; et cet effet se fait mieux sentir quand le magasin est sous le canon que lorsqu'il est placé dans la crosse. Ce défaut est du reste peu grave, parce que le tir à répétition ne se fait qu'à de faibles distances.

§ 422. **Détermination des éléments de la trajectoire.** — La trajectoire moyenne étant tracée, on relève di-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rectement sur cette courbe ses différents éléments : flèche, angle de chute, etc.

Ainsi, pour avoir le point le plus haut correspondant à une portée AO (fig. 61), on mène une série de parallèles à la ligne AO, et l'on prend le milieu de chacune de ces cordes. Si l'on joint ces points par une courbe, le point où elle rencontre la trajectoire nous donne le sommet H cherché.

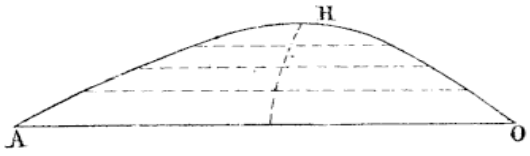


Fig. 61.

En second lieu, supposons que nous cherchions l'angle de chute en un point M (fig. 62) de la trajectoire, situé, par exemple, à 450^{m}. Les expériences nous ont fourni les ordonnées y et y' des deux points C et D, placés l'un à 400^{m}, l'autre à 500^{m}. Joignons PQ par une droite, cette ligne est à peu près parallèle à la tangente en M ; car les deux arcs PM et MQ sont sensiblement circulaires et presque égaux entre eux. Donc POC = ω = PQR.

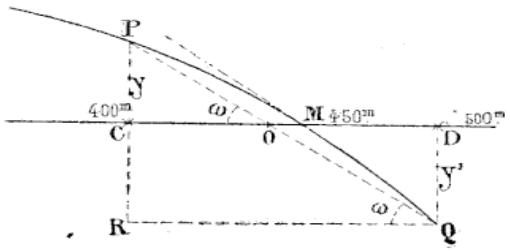


Fig. 62.

$$\text{tg } \omega = \text{tg PQR} = \frac{\text{PR}}{\text{QR}} = \frac{\text{PC} + \text{CR}}{\text{QR}} = \frac{y + y'}{100}.$$

§ 423. **Zone dangereuse.** — C'est, pour une trajectoire donnée, la zone dans laquelle un but de hauteur déterminé BB' ne peut se mouvoir sans être atteint. On l'obtient en menant (fig. 63) BC parallèle à la ligne de mire jusqu'à la rencontre de la trajectoire en C ; C'B' forme la zone dangereuse. En prolongeant cette ligne jusqu'en C_1, on voit qu'il existe une seconde zone dangereuse AC'_1. On ne s'en occupe pas en pratique.

Fig. 63.

La zone dangereuse est d'autant plus étendue que la hauteur du but est plus grande et que la trajectoire est plus tendue comme nous l'avons vu § 419. Elle diminue au contraire quand l'angle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de chute augmente. Elle décroit rapidement quand la distance augmente, parce que la courbure de la trajectoire devient de plus en plus prononcée.

Il est facile de voir que la configuration du terrain a une grande influence sur l'étendue de la zone dangereuse.

§ 424. **Appareil de pointage**. — La portée dépend de la grandeur et de la direction de la vitesse initiale. Pour une cartouche donnée, la grandeur ne peut varier; c'est donc sur la direction seule qu'il faut agir pour atteindre un but situé à une distance variable dans les limites de la portée.

A la bouche du canon, la trajectoire est tangente à la ligne de tir, et elle va en s'abaissant au-dessous de cette ligne à mesure que la distance augmente. En outre, à cause des dérivations et des déviations, la trajectoire s'écarte du plan de tir ; on a donc deux opérations à faire :

1° On doit amener la ligne de tir au-dessus du but d'une quantité égale à l'abaissement de la trajectoire pour cette distance.

2° Il faut que le plan de tir passe à droite ou à gauche du but d'une quantité égale à celle dont le plan de la trajectoire s'en écarte pour cette distance.

L'appareil de pointage a été imaginé dans ce double but. Il est placé sur la génératrice supérieure du canon ; il est formé d'un guidon situé près de la bouche et d'une hausse près du tonnerre.

§ 425. **Hausse**. — La hausse présente plusieurs crans de mire fixes et un cran mobile. Pour pointer une arme, il faut que la ligne allant de l'œil du tireur au but passe par le fond du cran de mire et le sommet du guidon. Dans ces conditions, la trajectoire devra passer par le but, si la ligne de mire de l'arme est bien réglée.

Soit (fig. 64) la projection de l'appareil de pointage sur le plan vertical ; AO est l'axe de l'arme, OT la ligne de tir, G le guidon, H le cran de mire, et B le but, que nous supposons sur la trajectoire. Pour que l'arme soit bien pointée, il faut que les trois points H, G, B soient en ligne droite.

Si la ligne de mire passait par le centre O de la bouche, AK servirait à donner l'inclinaison du canon; mais le point O n'est pas visible pour le tireur ; on lui substitue donc le sommet G du guidon, et c'est AH qui sert à déterminer l'angle de mire. La ligne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

HB fait avec TO un angle TRB peu différent de TOB; car TRB = TOB + RBO ; or RBO est très petit. Dans la pratique on

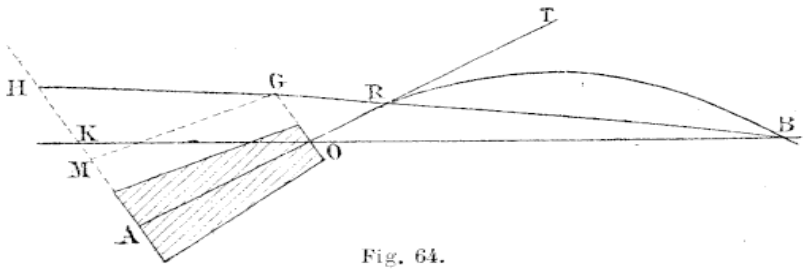


Fig. 64.

prend TRB comme le véritable angle de mire, et l'on appelle ligne de mire la ligne de visée HB. Si par G on mène une parallèle GM à l'axe du canon, l'angle MGH = TRB.

GM est la longueur *l* de *ligne de mire ;* MH qui représente la hauteur du cran de mire au-dessus de la parallèle à l'axe du canon passant par le sommet du guidon s'appelle la *hausse totale* H_t. La *hausse pratique* H_p est la hauteur du cran de mire au-dessus de la génératrice supérieure du canon.

Si la distance du but varie, il faut changer la ligne de tir; c'est pour ce motif que la hausse porte plusieurs crans de mire.

Avec une même arme, ou des armes de même modèle, on peut, connaissant la hausse totale, en déduire l'inclinaison du canon sur la ligne de mire. Mais cela ne suffit pas avec des armes différentes où les lignes de mire n'ont pas la même longueur.

La figure 65 montre, en effet, que l'inclinaison de la ligne de mire sur l'axe du canon est d'autant plus faible que la ligne de mire est plus longue. Mais pour un même angle de mire *m*, le rapport de la hausse totale à la longueur de la ligne de mire est constant. En effet, supposons des armes différentes ayant pour longueurs de mire MG, M′G, M″G,

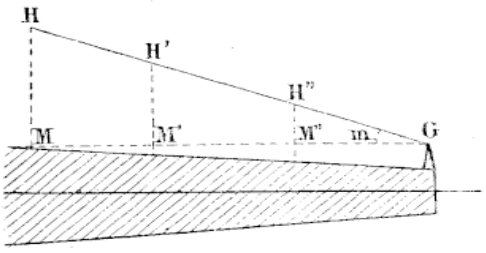


Fig. 65.

les hausses totales correspondantes étant HM, H′M′, H″M″, on a :

$$\frac{HM}{MG} = \frac{H'M'}{M'G} = \frac{H''M''}{M''G}.$$

Ce rapport constant peut servir à définir la grandeur de l'angle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de mire ; on le nomme *hausse théorique* H_{th}. On a

$$H_{th} = \frac{H_t}{l},$$

d'où

$$\frac{H_{th}}{H_t} = \frac{1}{l}.$$

Donc la hausse théorique d'une arme est la hausse totale de cette arme dans laquelle la ligne de mire $= 1$. Ainsi, comparer des armes par leurs hausses théoriques, c'est comparer leurs hausses totales en supposant la ligne de mire égale à l'unité.

§ 426. **Calcul de la hausse totale.** — Pour graduer une planche de hausse, il faut déterminer la hausse totale pour chaque distance. Mais il n'est pas commode de mesurer directement la hauteur du cran de mire au-dessus de la parallèle à l'axe passant par le sommet du guidon ; on exprime plus facilement la hausse totale de la manière suivante :

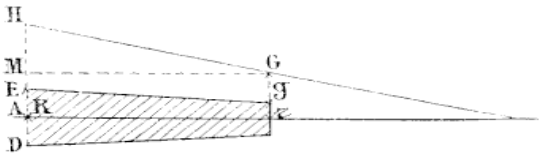


Fig. 66.

Soit HM la hausse totale, g la hauteur du guidon (fig. 66)

$$HM = HD - DM;$$

or

$$HD = ED + EH = 2R + H_p$$
$$DM = AD + MA = R + r + g,$$

d'où

$$(1) \qquad HM \text{ ou } H_t = 2R + H_p - (R + r + g).$$

§ 427. **Détermination pratique des hausses.** — Pour déterminer par expérience la hausse totale correspondant à une distance d, le tireur se place à cette distance d'une cible assez grande pour qu'il puisse y envoyer tous ses coups. Par tâtonnements, il arrivera à fixer à peu près la position voulue du cran de mire. La hausse étant ainsi réglée, il fera un tir de 10 à 20 coups en visant toujours le même point V (fig. 67) par sa ligne de mire HG. Il déterminera le centre moyen de groupement des différents points touchés, c'est-à-dire le point où la trajectoire moyenne rencontrerait la cible, et qui coïncide rarement avec le but visé.

Si, par exemple, ce centre de groupement obtenu en visant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le point V se trouve en P, c'est que la hausse employée est trop faible ; et l'on doit la monter en H'. La quantité HH' dont il faut l'augmenter se calcule en regardant comme semblables les triangles GVP et HH'G.

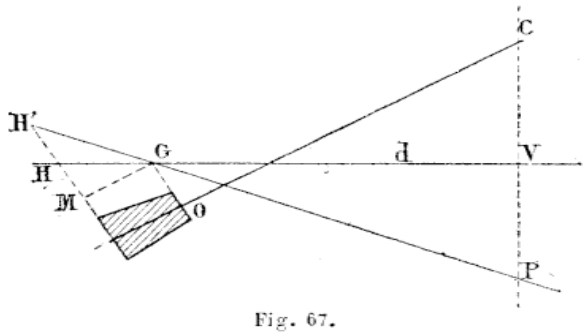


Fig. 67.

Dans le cas actuel, l'erreur de hausse est positive ; elle serait négative si le point moyen se trouvait au-dessus de V.

Soit e l'erreur de hausse, et H la hauteur que l'on avait adoptée dans le principe ; la hausse totale correspondant à la distance d est donnée par la relation

$$H_t = 2R + H \pm e - (R + r + g);$$

et la hausse théorique par

$$H_{th} = \frac{2R + H \pm e - (R + r + g)}{l}.$$

Lorsque les hausses d'une arme ont été calculées de cette façon, par exemple de 100 en 100 mètres, on construit la courbe des hausses. Les distances de tir étant comptées en abscisses (fig. 68), on porte en ordonnées les valeurs des hausses théoriques correspondantes, et on relie les points obtenus par une courbe ; la hausse en un point intermédiaire p sera donnée en prenant l'intersection m de la courbe avec l'ordonnée menée en ce point.

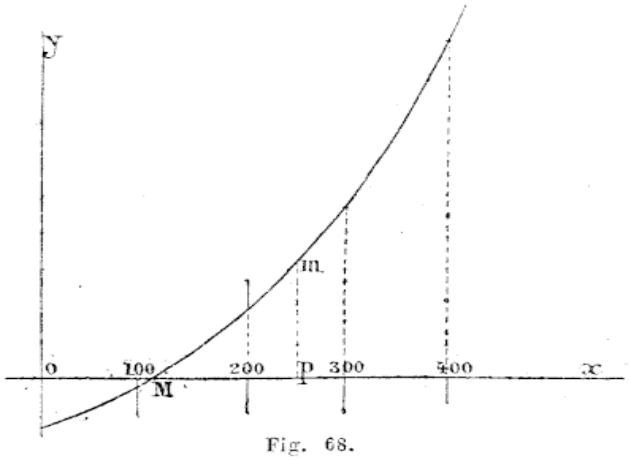


Fig. 68.

La courbe des hausses pour les armes M^le 1874 offre quelques particularités intéressantes. Elle devrait partir de o ; car pour une portée nulle la hausse est nulle. Or, dans les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

armes de ce modèle la courbe commence au-dessous de l'axe des abscisses, et elle le coupe au delà de 100, comme l'indique la figure 68. On peut conclure de là qu'en ce point M la hausse est nulle; et l'axe du canon doit passer par le but même, c'est-à-dire qu'il faut viser avec une ligne de mire parallèle à la ligne de tir. Pour toutes les distances inférieures à celle-ci, la hausse est négative ; la ligne de mire doit passer au-dessous du but.

§ 428. **Dérive.** — Dans le fusil M^le^ 1874, le canon se trouve dévié à droite pendant le trajet de la balle dans l'âme ; le plan de tir devra donc passer à gauche du but et faire avec le plan de mire un angle égal à celui de la déviation latérale. Si, en visant un point situé dans le plan de tir, les coups se groupent en B (fig. 69), il faudra pour atteindre B, en le visant directement, que le plan de mire fasse avec le plan de tir un angle T*g*B = *mgo* ; et *mo* représente la quantité dont le cran de mire devra être déplacé à gauche du plan de tir. Cette quantité se nomme la *dérive*.

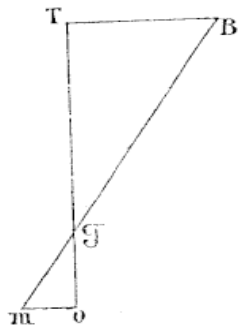


Fig. 69.

§ 429. **Réglage des armes.** — Les résultats du tir varient avec chaque fusil d'un même système. Chacun d'eux donne un déplacement latéral, un relèvement ou un abaissement qui dépend des détails intimes de construction. Le même appareil de pointage appliqué à toutes les armes fournirait donc des irrégularités dans le tir; on ne peut les faire disparaître qu'en *réglant* l'arme, de manière à faire coïncider le point moyen avec le point visé dans les conditions normales de tir. On obtient ce résultat en modifiant la hauteur du guidon pour les écarts en hauteur, et en le déplaçant sur le côté pour corriger les erreurs latérales.

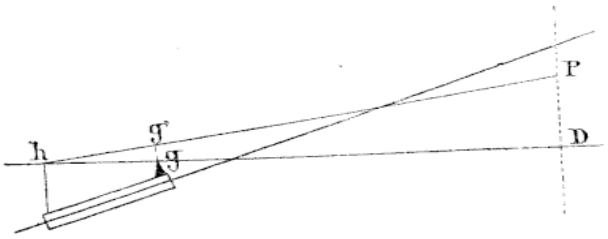


Fig. 70.

La correction en hauteur est déterminée comme il suit. La mire se trouvant à la distance *h*D = *d* (fig. 70), *gg'* étant la correction en hauteur, PD l'écart de l'arme, *hg* = *l* sa longueur ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les deux triangles semblables hgg', hPD nous donnent

$$\frac{gg'}{\text{PD}} = \frac{hg}{d}; \quad \text{d'où} \quad gg' = l\frac{\text{PD}}{d}.$$

Or PD est proportionnel à la distance; le rapport $\frac{\text{PD}}{d}$ est donc constant; et il suffit de corriger la hausse de 200^{m} pour que l'arme soit réglée à toutes les distances.

En prenant pour exemple le fusil M^{le} 74, dans lequel on a $l = 0^{m},691$, la quantité dont le tir à 100^{m} se trouve élevée ou abaissée pour un changement de 1^{mm} dans la hauteur du guidon est donnée par

$$1^{mm} = 0,691 \times \frac{\text{PD}}{100};$$
$$\text{PD} = 14^{cm}.$$

De même, on voit que, pour un déplacement égal à 1^{mm} à droite ou à gauche, la déviation à 100^{m} est corrigée de 14^{cm},5.

Si donc, dans un tir à 100^{m}, un fusil M^{le} 74 donne par rapport à une arme bien réglée un point moyen ayant pour cote verticale 14^{cm} et pour cote horizontale 14^{cm},5 à droite, il faudra, pour régler ce fusil, prendre un guidon plus élevé de 1^{mm} et le déplacer de 1^{mm} à droite.

§ 430. **Guidon**. — On a adopté six numéros de guidon; leur hauteur au-dessus de la génératrice supérieure du canon varie par millimètre, depuis le n° 1, qui a 5^{mm},9, jusqu'au n° 6, qui a 10^{mm},9.

Ces guidons comportent une embase fixe e (fig. 71) brasée sur le canon et une partie rapportée. Pour les n^{os} 4, 5, 6, celle-ci se compose d'un grain d'orge r monté sur une embase. Pour les n^{os} 1, 2, 3, c'est un simple grain d'orge g. La partie rapportée s'adapte sur l'embase par une queue d'aronde.

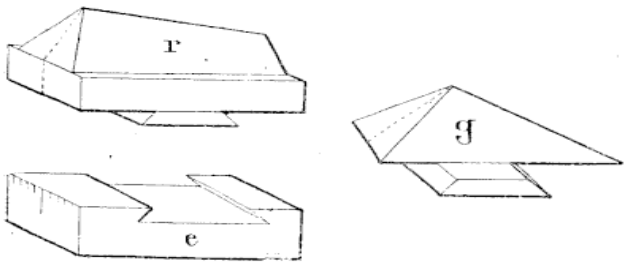


Fig. 71.

L'embase fixe, dont les coulisses sont perpendiculaires à l'axe du canon, porte cinq traits de repère espacés de 1^{mm}; pour corri-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ger les déviations latérales, il suffit de déplacer latéralement de la quantité voulue le sommet du guidon qui correspond à un repère marqué en bas de la partie mobile.

§ 431. **Appréciation d'une arme au point de vue du tir.** — Si, après avoir tiré un nombre de coups assez considérable avec une arme, on détermine le coup moyen, c'est-à-dire le point autour duquel les trous se groupent symétriquement ; si ensuite du point moyen comme centre on décrit des cercles de rayons différents, le rayon du cercle contenant une proportion déterminée de coups sera d'autant plus petit que les coups seront plus rapprochés du centre ; et ces rayons pourront servir à établir la justesse d'une arme ou à comparer plusieurs armes entre elles.

Comme terme de comparaison, on prend ordinairement le rayon du cercle contenant la moitié des coups, et le rayon de ce cercle se nomme *écart probable* (1), parce qu'il y a autant de probabilité pour qu'une nouvelle balle vienne frapper l'intérieur que l'extérieur de ce cercle.

La justesse est influencée par des causes nombreuses et, quoi qu'on fasse pour réaliser des conditions de tir semblables, les trajectoires obtenues pour une même arme ne sont pas identiques. Les déviations sont constitutionnelles ou accidentelles.

§ 432. **Déviations constitutionnelles.** — Les déviations constitutionnelles proviennent de la non symétrie de l'arme, des rayures et du relèvement.

Les armes non symétriques, comme celles à verrou, présentent des déviations qui sont à peu près constantes pour les mêmes armes, et dépendent de la longueur du canon, du sens de rabattement du levier et de la vitesse initiale.

Pour rendre cette influence bien sensible, il suffit de tirer dans les mêmes conditions une arme dont la boîte de culasse permet le rabattement du levier alternativement à droite ou à gauche. Avec le fusil M^le 74, à la distance de 600^m, on obtient deux groupements bien distincts, séparés par un intervalle de 2 mètres, et placés symétriquement par rapport au plan de tir, le coup de droite correspondant à la position du levier rabattu à droite.

(1) Voir sur ce point trois importants articles de M. J. Bertrand dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1^er semestre 1888, n° 4, page 232, n° 6, page 387 et n° 8, page 521.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les rayures donnent une déviation constante nommée *dérivation*, qui rejette les projectiles à gauche ou à droite du plan de tir, suivant que les rayures sont tracées de droite à gauche ou inversement.

Le tableau suivant donne la valeur de la dérivation à gauche aux différentes distances. Très faible jusqu'à 1.000^{m}, elle est compensée par la déviation à droite de l'arme. La déviation due à la non symétrie et la dérivation due aux rayures nécessitent à toutes les distances un déplacement du cran de mire, ces corrections n'étant pas proportionnelles aux distances.

DISTANCES.	1.000^{m}	1.100^{m}	1.200^{m}	1.300^{m}	1.400^{m}	1.500^{m}	1.600^{m}	1.700^{m}	1.800^{m}
Déviation absolue ou dérivation.	2^{m}	3^{m}	4^{m}	5^{m}	7^{m}	9^{m}	12^{m}	15^{m}	20^{m}
Déviation absolue diminuée de la déviation due à la non symétrie	0^{m}	1^{m}	2^{m}	3^{m}	5^{m}	7^{m}	10^{m}	13^{m}	18^{m}

La dérivation se produisant à gauche et augmentant plus rapidement que les distances, doit être combinée avec la déviation à droite, qui, sensiblement proportionnelle aux petites distances, augmente bientôt moins vite. On est donc obligé de calculer pour chaque distance la correction horizontale que doit subir le cran de mire.

Pour les fusils M^{les} 74 et 78, les calculs donnent aux distances de 200^{m}, 300^{m} et 350^{m} un déplacement du cran de mire à gauche de 1^{mm},3 ; et de 0^{mm},8 pour les distances de 400 à 1.200^{m}. A partir de 1.300^{m}, le cran de mire est dans le plan de tir.

Les effets de relèvement ou d'abaissement se produisent tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre ; les principales causes sont : la longueur du canon, la fixation de la queue de culasse, le serrage des garnitures, le mode d'appui de la crosse, etc...

Le fusil M^{le} 74 a un relèvement de 13′ 20″ ; le fusil M^{le} 78 un abaissement de 8′. Quelles que soient les armes, ces angles correspondent au tir à bras francs, pour lequel sont construites les hausses.

§ 433. **Déviations accidentelles.** — Elles proviennent : 1° des armes ; 2° des munitions ; 3° des modes du tir.

Parmi les défauts provenant des armes, citons l'agrandissement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de la chambre et du canon, la diminution de profondeur des rayures occasionnés par un long service. Ces circonstances influent sur la vitesse initiale, et, par suite, sur la justesse.

La plus petite bavure de métal à la bouche et la moindre déformation de cette partie modifient également le tir d'une façon très sensible.

Il se produit quelquefois dans le canon une expansion annulaire perpendiculaire à l'axe, qu'on nomme *bague;* elle a lieu sous l'influence d'une poudre trop vive, d'un chargement mal fait, mais surtout de corps étrangers laissés dans le canon, tels que des fragments de collets d'étui entraînés. La balle suivante éprouve une grande résistance, et déforme le canon en produisant une bague qui influe beaucoup sur la justesse.

Des bavures peuvent se produire également par suite d'un mauvais rayage, d'un entretien défectueux, ou par des grains de sable provenant de cartouches tombées à terre.

Le plombage est une avarie fréquente qui enlève toute justesse à l'arme; il est produit par un forcement très énergique, par des bavures dans les rayures, par la présence de la rouille dans le canon. Des parcelles de plomb s'attachent au métal et compromettent la précision de l'arme.

L'échauffement a sur la justesse une influence bien plus grande que l'encrassement. Ce fait est démontré par l'expérience suivante : 100 cartouches brûlées à 200^{m} par séries de 20, sans laver le fusil, mais en laissant refroidir l'arme après chaque série, ont donné :

Écart vertical	9^{cm}
Id. horizontal	10^{cm}

Le même fusil ayant tiré sans arrêt 100 balles en 15 minutes, sans nettoyer le canon ni refroidir l'arme, a donné :

Écart vertical	27^{cm},5
Id. horizontal	32^{cm}

La dispersion des coups a été trois fois plus grande dans le second cas.

L'adjonction d'une baïonnette au bout du fusil produit des déviations.

La qualité des munitions influe sur le tir. Ainsi, des modifications apportées dans la confection de la poudre entraînent des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

différences de vitesse initiale, et changent les hausses et les portées qui sont basées sur une poudre type.

La poudre se modifie avec son âge, quand on la conserve en barils. Renfermée dans des étuis métalliques, elle s'altère malgré le vernissage des étuis. L'état hygrométrique de l'air la modifie également. La poudre contenant un excès d'humidité s'enroche dans la douille ; la flamme ne se propage pas régulièrement, et beaucoup de grains sont projetés sans brûler. Dans les cartouches soumises à une haute température, il se produit des réactions chimiques entre l'azotate de potasse et le cuivre de l'étui.

La balle a aussi une grande influence sur le tir; nous avons parlé de cette question plus haut, en étudiant la fabrication des balles.

Sans parler de l'adresse du tireur, le genre de tir ou le mode d'appui de l'arme joue un rôle important; et les déviations varient dans de grandes proportions suivant que le tir est exécuté à bras francs, debout ou à genou, sur appui ou sur affûts.

La température extérieure, le vent, exercent aussi une influence considérable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

4E PIE. — CHAPITRE III

DESCRIPTION DES FUSILS ET DES REVOLVERS

FUSIL KROPATSCHEK, MODÈLE 1878, MARINE

§ 434. — Ce fusil est une arme à verrou; il est à *répétition* ou à *magasin*, c'est-à-dire qu'il permet de tirer plusieurs coups successivement sans qu'on soit obligé de le recharger à chaque coup. En outre, il est combiné de telle sorte qu'il peut fonctionner à volonté comme fusil ordinaire ou à répétition. Il est représenté Pl. XX, fig. 1.

§ 435. **Canon**. — Le canon F présente à l'extérieur la forme d'un tronc de cône. L'âme est cylindrique et rayée; le calibre mesuré sur les cloisons est de 11^{mm}. Les rayures hélicoïdales, au nombre de quatre, ont une profondeur uniforme de $0^{mm},25$; les cloisons, de même largeur que les rayures, sont raccordées avec celles-ci par des arcs de cercle de $0^{mm},5$ de rayon. Le pas des rayures, qui tournent de droite à gauche, est de $0^{m},55$. La balle se trouve placée à l'origine des rayures.

§ 436. **Boîte de culasse.** — Du côté du tonnerre, le canon se termine par une partie filetée qui permet de le visser dans la *boîte de culasse* B. Celle-ci contient la culasse mobile, ou appareil de fermeture, et l'auget destiné à opérer la distribution des cartouches.

§ 437. **Cylindre.** — Le cylindre A (vue 3) sert de bouchon au canon ; on le manœuvre avec un levier L, et il est muni d'un renfort R qui arrête son mouvement et lui sert de point d'appui. Dans ce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

but, la boîte de culasse est percée à sa partie supérieure d'une entaille longitudinale pour livrer passage au levier de manœuvre L; cette entaille s'élargit sur le côté droit et forme l'*échancrure;* de sorte que, quand le cylindre est arrivé à l'extrémité de sa course, il suffit, pour l'arrêter, de rabattre le levier, qui, prenant appui en arrière sur l'échancrure, assure la fixité du cylindre.

La partie de cette échancrure qui sert d'arrêt à la culasse mobile, se nomme *rempart*. La face antérieure du rempart est d'abord taillée suivant une surface hélicoïdale formant une rampe inclinée en avant, puis présente un plan perpendiculaire à l'axe du canon. Nous verrons plus loin l'utilité de cette disposition.

Sur la paroi intérieure du cylindre sont pratiquées deux rainures : l'une inférieure servant de passage à la tête de gâchette, et l'autre latérale où pénètre la vis arrêtoir.

A la partie postérieure du cylindre est une entaille où s'engage le coin d'arrêt du chien; le côté droit de cette entaille a la forme d'une rampe hélicoïdale. En arrière est le *cran de l'armé*, qui sert à maintenir le chien au bandé dans la manœuvre de la culasse mobile.

En avant du renfort se trouve un bouton de saillie *o*, qui pénètre dans la *tête mobile* de manière à rendre cette pièce solidaire du cylindre dans les mouvements de translation. Une nervure empêche tout déversement du cylindre vers la droite, lorsque la culasse mobile est ramenée en arrière.

§ 438. **Tête mobile.** — La tête mobile T (vue 4), qui est reliée avec l'avant du cylindre, sert d'appui par sa tranche antérieure au culot de la cartouche, et porte l'extracteur. Elle se compose d'un corps cylindrique et de même diamètre que le cylindre, se prolongeant en arrière par un collet *c*. Elle est percée suivant son axe d'un canal dont la section est circulaire en avant et ovale en arrière, et qui est destiné à livrer passage au percuteur dont la partie antérieure affecte la même forme. Grâce à cette disposition, les deux pièces ne peuvent pas prendre de mouvement de rotation l'une par rapport à l'autre.

§ 439. **Extracteur.** — La tête mobile du cylindre est munie d'un *extracteur* E (vue 6), destiné à extraire la douille après que le coup est parti. Cet appareil se compose de deux branches *a*, *b* for-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mant ressort ; celle du bas *b* porte une griffe à tête inclinée qui saisit le bourrelet de la cartouche. La branche supérieure *a* glisse par un plan incliné sur une rampe correspondante de la boîte de culasse. Elle est reliée par un pivot *p'* à la *tête mobile*. Par cette disposition, la griffe saisit aisément le bourrelet de la cartouche ; et dans la fermeture, la branche supérieure étant comprimée, le ressort est tendu ; tout ballotement de la tête mobile est rendu impossible, et l'extraction de l'étui se trouve assurée.

Nous avons vu que pour la fermeture le cylindre tournait sur son axe. Si l'extracteur le suivait dans son mouvement, il faudrait pratiquer dans le canon une entaille de 90° lui permettant ce jeu. C'est pour obvier à cet inconvénient qu'on a construit le cylindre en deux parties et que l'on a fait la tête mobile. Celle-ci, qui porte l'extracteur, ne peut tourner ; mais elle n'en subit pas moins la pression du cylindre suivant l'axe. En outre, ces deux pièces sont rendues solidaires par le bouton *o*, qui entraîne la tête mobile quand le cylindre revient en arrière.

440. **Fermeture.** — Pour assurer le forcement de la cartouche dans son logement, et pour faciliter le mouvement de la griffe d'extracteur, qui doit saisir la douille en montant sur le rebord du bourrelet, on utilise le mouvement de rotation que reçoit le cylindre, de manière à opérer graduellement et sans choc.

C'est dans ce but qu'a été créé le rempart. Le cylindre, en se rabattant, trouve une surface hélicoïdale au lieu d'une paroi simplement verticale. Il est donc obligé, pour arriver à sa position limite, de subir une translation lente qui serre fortement la cartouche.

§ 441. **Ouverture.** — Ce même mouvement énergique et gradué est aussi nécessaire en arrière pour produire l'ouverture ; car l'étui étant fortement appliqué, le bourrelet pourrait se déchirer si la traction était trop brusque ; et l'extraction ne s'opérerait pas.

Mais, dans ce sens, le mouvement hélicoïdal ne peut être produit par le rempart ; on l'obtient par la *vis arrêtoir*, dont le bout est constamment engagé dans une rainure pratiquée sur le côté du cylindre. Cette rainure, à partir de la tête mobile, où elle finit,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

jusqu'à l'arrière du renfort du cylindre, est rectiligne ; puis vient une portion hélicoïdale qui est en rapport avec la courbe du rempart, et se termine par une partie circulaire. Quand le levier est abattu, la vis arrêtoir est engagée dans la rainure circulaire, et elle continue à s'y mouvoir durant la première phase du mouvement. A ce moment, le renfort du cylindre porte sur la face verticale de l'échancrure. Le mouvement continuant, la vis arrêtoir passe dans la partie hélicoïdale, et communique au cylindre un mouvement en spirale ; pendant ce temps le renfort du cylindre appuie sur le rempart. Puis la vis arrêtoir vient dans la partie rectiligne pour guider le mouvement en arrière. Aussitôt que le mouvement hélicoïdal commence, le bouton se trouve déjà engagé dans la tête mobile, qui est retirée en arrière lentement, entraînant avec elle l'extracteur et l'étui.

§ 442. **Percuteur. Chien.** — Le *percuteur* P (vues 1 et 2) sert pour la mise de feu. C'est une tige d'acier à pointe légèrement conique et arrondie, traversant le cylindre de part en part suivant son axe, et mise en mouvement par un ressort à boudin qui se comprime quand on arme.

Le *chien* C, qui s'adapte à la partie postérieure du percuteur, lui donne une masse suffisante pour assurer le choc. Le percuteur ne doit avoir qu'un mouvement de translation, et il ne faut pas qu'il obéisse à la rotation du cylindre. Dans ce but, il porte à l'avant, ainsi que nous l'avons déjà dit, une partie méplate, qui s'engage dans un trou elliptique de la tête mobile ; et, comme celle-ci ne tourne pas, il en est de même du percuteur.

Le mouvement de rotation que prend le cylindre pendant l'ouverture est utilisé pour armer automatiquement le chien. Ce dernier porte à cet effet un *coin d'arrêt*, dont la partie antérieure présente une surface hélicoïdale, la face arrière du cylindre étant munie d'une entaille de même forme. Le cylindre tournant sans que le chien tourne, ce dernier se trouve entraîné en arrière ; il emmène avec lui le percuteur, et bande le ressort.

Quand le mouvement est terminé et que le levier est vertical, le coin d'arrêt repose dans le *cran de l'armé*, qui est pratiqué à la partie supérieure et arrière du cylindre. Tout le système peut dès lors être entraîné en arrière.

Mais lorsqu'on opère la fermeture en tournant le levier, le coin

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'arrêt se trouve vis-à-vis de l'entaille, et le chien poussé par son ressort pourrait partir et enflammer l'amorce. Il faut donc le retenir dans cette position. C'est dans ce but que la partie inférieure du chien est munie de trois entailles : celle qui est en avant *d* est saisie par la tête de gâchette, et c'est seulement en abaissant cette dernière que le chien pourra partir.

Une deuxième entaille *s* constitue le *cran de sûreté*. Quand la gâchette vient s'y appuyer, le ressort n'est pas assez bandé pour que le percuteur fasse détoner l'amorce. En tous cas, si le chien partait, le coin d'arrêt venant se loger dans l'entaille ferait rabattre le levier, et la culasse serait fermée. L'entaille et le coin d'arrêt constituent donc un appareil de sûreté.

Le troisième cran *f* sert à loger la tête de gâchette qui déborde quand le chien est à l'abattu.

Deux autres crans pratiqués en arrière servent à briser les gaz qui pourraient trouver issue à travers le cylindre.

Le chien est relié au percuteur par le *manchon* m (vue 5). C'est une pièce qui s'adapte sur l'extrémité en forme de T du percuteur.

Sur la tête du manchon est pratiquée une fente de repère, servant de guide pour le montage de la culasse mobile. Le manchon peut tourner par rapport au chien ; et l'on sait que le T est juste dans sa position de sortie quand la fente de repère correspond à une entaille faite sur la crête du chien. L'entrée des ailettes du manchon est normale à la position qu'elles occupent quand le mécanisme est en place ; elles ne peuvent donc jamais se présenter vis-à-vis de leur entrée, et par conséquent sortir de leur logement pendant la manœuvre de la culasse mobile ; car, comme on l'a vu, pendant cette manœuvre le chien et le percuteur ne peuvent pas tourner.

§ 443. **Gâchette**. — L'appareil de détente placé en bas de la boîte de culasse comporte : un ressort *gâchette* G (vues 1 et 2), dont la tête fait saillie dans l'intérieur de la boîte, pour maintenir le chien à l'armé ; et une *détente* D, qui sert à faire rentrer la tête de la gâchette quand on veut déterminer le départ du chien.

§ 444. **Mécanisme à répétition. Magasin**. — Nous allons examiner maintenant les appareils qui ont été imaginés pour procurer à cette arme le tir à répétition.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le *magasin* S (vues 1 et 2), placé dans le fût, contient sept cartouches disposés les unes à la suite des autres, la balle en avant, et dans une position inclinée, de façon qu'aucune d'elles ne puisse venir en contact avec l'amorce de la précédente ; en cas que l'arme tombe on n'a donc pas à craindre d'éclatement.

Le magasin est constitué par un tube en laiton parallèle au canon, et bouché à l'extrémité antérieure. Dans ce tube se meut un piston actionné par un ressort à boudin qui pousse les cartouches.

§ 445. **Auget.** — Il faut maintenant disposer un organe de distribution, de telle façon qu'une cartouche soit saisie à la sortie du magasin et amenée automatiquement à l'entrée du canon. C'est l'*auget* H (vues 1, 2 et 7) qui est chargé de ce rôle. Il a la forme d'une cuvette allongée pouvant contenir une cartouche, et il est mobile dans un plan vertical passant par l'axe du canon. Le ressort *t* fixé à l'arrière de la boîte de culasse vient agir sur un talon placé sous l'auget. A l'arrière est un épaulement *h* nommé *butoir de relèvement*, qui fait saillie sur le chemin parcouru par la culasse mobile quand l'auget est abaissé. En avant se trouve le *bec* b, qui, dans la position de relèvement, s'oppose au passage de la cartouche.

L'arrêt de cartouche u (vues 1, 2 et 8) est un levier au-dessous duquel est placé un ressort, et qui présente à l'avant une griffe. Le levier est pressé par le fond de l'auget. Quand celui-ci est abaissé, la griffe fait saillie à l'orifice du magasin et s'oppose à la sortie des cartouches. Si l'auget se relève, la griffe s'abaisse et dégage la sortie.

Les mouvements de l'auget sont provoqués par ceux du cylindre. Quand l'auget est abaissé, son talon fait saillie sur le chemin parcouru par la culasse mobile. Celle-ci porte en dessous, pour laisser passer la tête de gâchette et l'éjecteur, une rainure longitudinale qui se termine par un plan incliné. La culasse venant en arrière, quand arrive le plan incliné, le butoir d'auget se trouve pressé et l'auget se relève.

L'effet inverse est obtenu par le *butoir d'abaissement*. C'est une petite tige, faisant corps avec l'auget, et terminée par un bouton qui s'engage dans un trou pratiqué dans le renfort du cylindre. Pendant le rabattement, le butoir, pressé par le renfort du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cylindre, s'abaisse en entraînant l'auget. Dans les deux positions, ce dernier est maintenu par son ressort, qui presse tantôt d'un côté du talon, tantôt de l'autre.

Le bec d'auget et l'arrêt de cartouche ont pour fonction de régulariser la distribution, c'est-à-dire d'empêcher qu'une cartouche étant tenue dans l'auget, la suivante ne s'engage lorsque l'auget sera relevé et ne s'oppose à l'abaissement de cet organe.

L'arrêt de cartouche fait saillie quand l'auget est abaissé et arrête la cartouche suivante. Si l'auget se relève, la griffe de l'arrêt de cartouche s'abaisse; la cartouche peut marcher un peu, de façon à franchir l'arrêt; mais elle est alors empêchée par le bec d'auget; et lorsqu'on fermera la culasse, l'auget s'abaissant, cette même cartouche, qui n'est plus retenue, et qui est pressée par le ressort de magasin, entrera dans l'auget. La suivante sera arrêtée et ainsi de suite. Ces différentes phases sont représentées dans les vues 1 et 2.

Pour approvisionner le magasin, la cartouche introduite avec le doigt presse fortement le bec d'arrêt, qui cède et laisse le passage libre ; puis ce bec se relève et empêche la cartouche de revenir en arrière.

§ 446. **Éjecteur**. — Cet organe sert à projeter en dehors l'étui vide aussitôt qu'il a été amené dans l'échancrure. A cet effet, on a utilisé encore le mouvement rétrograde du cylindre. L'étui étant saisi par le haut, et possédant une certaine vitesse en arrière, se trouve brusquement arrêté à la partie inférieure par une saillie *p* (vue 7) de l'auget qu'on nomme *éjecteur*. Il est ainsi projeté en l'air et sort de l'échancrure.

§ 447. **Fonctionnement**. — Supposons qu'un coup vienne de partir. L'auget est abaissé. La première cartouche est déjà engagée dans l'auget, et la seconde est retenue par la griffe de l'arrêt de cartouche. Avant de faire feu de nouveau, il y a 4 mouvements à exécuter.

1^er^ *mouvement*. — Tourner le levier de droite à gauche pour le rendre vertical, le renfort du cylindre venant heurter le côté gauche de la boîte de culasse.

Dans la première partie de ce mouvement, le cylindre seul tourne, la tête mobile étant arrêtée par l'extracteur, et le per-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cuteur par son méplat. La rampe hélicoïdale du cylindre vient s'appliquer contre celle du chien, qui, ne pouvant tourner à cause de son renfort, recule en abaissant la tête de gâchette. Le chien qui est relié au percuteur l'entraîne en arrière en bandant le ressort. On entend un premier bruit produit par la tête de gâchette heurtant le fond du cran de sûreté. Le bouton du cylindre commence à s'engager dans son logement de la tête mobile.

Dans la seconde partie du mouvement, le cylindre continue à tourner seul; mais il a, en même temps, un petit mouvement de translation en arrière, parce que la vis arrêtoir est engagée dans la portion hélicoïdale de la rainure. Ce mouvement en arrière s'ajoute à celui que possèdent déjà le chien et le percuteur. On entend alors un second bruit produit par la tête de gâchette dépassant le cran de départ; le coin d'arrêt du chien tombe dans le cran de l'armé.

Le bouton du cylindre étant déjà engagé dans la tête mobile, celle-ci est entraînée en arrière avec l'extracteur, qui attire la cartouche par un mouvement progressif.

2e *mouvement*. — Ramener vivement la culasse mobile en arrière, jusqu'à ce que l'extrémité de la rainure latérale vienne heurter la vis arrêtoir.

Toutes les pièces qui constituent la culasse mobile sont entraînées à la fois en arrière sans changer de position relative.

L'étui vide, emmené par l'extracteur, sort en glissant sur la cartouche qui est dans l'auget, jusqu'à ce que son bourrelet vienne heurter l'éjecteur, ce qui projette l'étui en l'air.

Presque aussitôt, le butoir de relèvement de l'auget se trouve en prise avec la partie rampante de la rainure. L'auget se relève, et la cartouche qu'il contient se présente devant le canon dans une position inclinée.

L'arrêt de cartouche, qui est délivré, obéit à son ressort ; et sa griffe s'abaisse pour laisser passer la cartouche suivante, dont la course est limitée par le bec d'auget.

3e *mouvement*. — Pousser la culasse mobile en avant jusqu'à ce que la rampe hélicoïdale de la rainure latérale du cylindre vienne heurter la vis arrêtoir.

La tête mobile pousse la cartouche, qui glisse sur le fond de l'auget et entre dans la chambre sans occuper encore son poste définitif.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

4e *mouvement*. — Tourner le levier pour le rabattre vivement et complètement à droite.

Le chien est arrêté par son renfort, la tête mobile par l'extracteur ; le cylindre tourne donc seul. Dans la première phase, il y a d'abord un léger mouvement de translation produit par la partie hélicoïdale du rempart. L'arête du coin d'arrêt sort du cran de l'armé en faisant reculer le chien par rapport au cylindre ; mais il est arrêté par la tête de gâchette contre laquelle vient appuyer le cran de départ.

A ce moment le chien, le manchon et le percuteur s'arrêtent, le ressort à boudin achève de se bander. La tête mobile poussée par le cylindre enfonce progressivement la cartouche à son poste ; l'extracteur s'abaisse et mord le bourrelet de la cartouche.

Dans la deuxième phase du mouvement, le cylindre achève de se rabattre, et presse le butoir d'abaissement de l'auget qui se met à descendre ; la griffe de l'arrêt de cartouche se lève et empêche une troisième cartouche de sortir du magasin. La seconde, qui était retenue par le bec d'auget, ne trouvant plus d'obstacle et poussée par le piston, se place dans l'auget.

A ce moment, le coin d'arrêt est placé vis-à-vis de l'entaille du cylindre ; le ressort est bandé ; le cylindre retenu par le rempart de la boîte de culasse ne peut bouger. Si l'on presse sur la détente, la tête de gâchette s'abaisse ; le système formé par le manchon, le chien et le percuteur, obéissant au ressort, part en avant ; et la pointe du percuteur heurte violemment l'amorce de la cartouche. Sa course est limitée en avant par la butée du chien contre le cylindre.

§ 448. **Tir coup par coup**. — Nous avons vu que la descente de l'auget était produite par le butoir d'abaissement. Le bouton qui le termine peut à volonté être placé dans deux trous t', t'' (vue 3), pratiqués dans le cylindre, l'un à l'avant, l'autre à l'arrière. Pour obtenir le tir à répétition, le bouton est engagé dans le trou arrière ; la tige du butoir est alors verticale.

Si l'on met le bouton dans l'autre trou, la tige est inclinée en avant ; la butée ne se produit plus, et l'auget ne descend pas ; le fusil se comporte alors comme une arme à tir simple.

§ 449. **Appareil de hausse**. — Cet appareil K (vues 1, 2 et 9) comporte un pied de hausse qui est soudé sur le canon, et dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lequel est encastré un ressort. A ce pied est fixée, à charnière, une planche de hausse graduée, sur laquelle glisse à frottement doux un curseur à rallonge. Le frottement nécessaire pour maintenir le curseur en place est produit par un petit ressort interposé entre la planche et le curseur. Un arrêtoir placé à la partie supérieure de la planche guide le curseur et en limite le mouvement. La planche de hausse, munie de son curseur, peut être soit levée, soit rabattue, aussi bien en avant qu'en arrière ; le ressort du pied assure la fixité dans ces trois positions.

Le talon de la planche porte le cran de mire de 200^{m}, la planche étant rabattue en avant.

Dans la pièce arrêtoir est pratiqué le cran de mire de 300^{m} ; pour cette distance, la planche mobile est rabattue en arrière.

A partir de 300^{m}, la planche doit être verticale. Elle porte deux crans fixes : l'un en bas correspondant à 350^{m}, et celui du haut pour la distance de 1.300^{m}.

Sur les deux côtés de la planche sont marqués des traits indiquant les points auxquels il faut faire affleurer le bord supérieur du curseur pour les différentes distances. La graduation du côté gauche va de 400 à 1.200^{m} ; celle du côté droit de 1.400 à 1.800^{m}.

Dans le curseur à rallonge sont pratiqués deux crans : l'un à la partie inférieure pour les distances de 400 à 1.200^{m} ; l'autre à la partie supérieure, pour les distances de 1.400 à 1.800^{m}.

Ainsi pour tirer, par exemple, à 600^{m}, on place la partie supérieure du curseur de manière à affleurer le trait 600 marqué sur le côté gauche de la planche ; et l'on vise par le trait inférieur du curseur à rallonge et le sommet du guidon. Si l'on veut tirer à 1.500^{m}, on amène la même partie supérieure du curseur à affleurer le trait 1.500 tracé à droite de la planche ; et l'on vise par le cran supérieur du curseur et le sommet du guidon.

Certains crans de mire de la planche et du curseur sont placés un peu à gauche du plan de tir d'une quantité variable pour chaque cran. Ce déplacement a pour but de corriger les écarts produits dans le tir par le défaut de symétrie de l'arme.

§ 450. **Monture. — Garnitures.** — La *monture*, qui relie tous les organes de l'arme, est en bois de noyer, et comprend le fût, la poignée et la crosse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les *garnitures* comprennent les pièces suivantes :

L'*embouchoir* servant à fixer le canon au bois près de la bouche ; il porte une directrice et un tenon pour tenir l'épée-baïonnette :

La *capucine* destinée à serrer le fût sur le canon ;

La *grenadière*, qui remplit le même rôle et porte un des battants ;

La *sous-garde*, composée d'une seule pièce et constituant le *pontet ;*

Le *battant de crosse*, qui est formé d'une embase fixée au bois par deux vis et porte un pivot pour le battant ;

La *plaque de couche*, qui est reliée à la crosse au moyen de deux vis.

Nous nous bornons à indiquer ces différentes pièces uniquement pour mémoire.

§ 451. **Fusil M^le^ 1884.** — Quelques modifications ont été apportées au fusil M^le^ 1878, que nous venons de décrire ; et c'est ainsi que le modèle 1884 a été créé. On a cherché à diminuer le poids de l'arme. Ainsi le calibre restant le même, le canon est moins épais ; à la bouche on a $0^{mm},7$ d'épaisseur en moins. Les pièces de culasse mobile ont été également allégées.

Une heureuse modification a été apportée aussi au tube magasin que l'on a rendu indépendant. Si, dans le modèle 1878, le magasin ou le ressort venait à ne pas fonctionner, il fallait démonter l'arme tout à fait ; cet inconvénient a été supprimé dans le nouveau modèle.

Le tube qui contient le piston et le ressort, et qui se termine par le bouchon, s'introduit par la partie supérieure du fût. Le bouchon porte un épaulement dans lequel est faite une entaille. Quand on enfonce le bouchon, cette entaille laisse passer un tenon fixé au tube. Si l'on fait tourner le bouchon, le tenon empêche tout mouvement dans le sens longitudinal. Le mouvement de rotation du bouchon est rendu impossible par une encoche pratiquée dans l'épaulement, et dans laquelle passe la baguette.

Le tube est en acier, et peut contenir huit cartouches au lieu de sept.

La baguette est placée dans une rainure le long du côté gauche du fût, et se visse à une pièce métallique fixée à l'intérieur du bois, dans le logement de la boîte de culasse.

§ 452. **Cartouches M^le^ 1879.** — Les cartouches sont à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

étui métallique, en laiton embouti, et présentent la forme indiquée figure 72. L'étui contient une charge de poudre F_3, de $5^{gr},25$; la balle a $27^{mm},75$ de longueur ; elle est légèrement conique, et se termine par une ogive ayant $13^{mm},5$ de hauteur. Elle est en plomb pur comprimé, et pèse 25^{gr}.

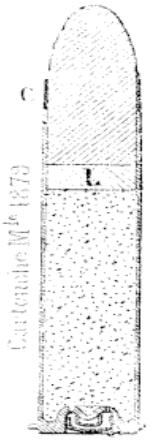


Fig. 72.

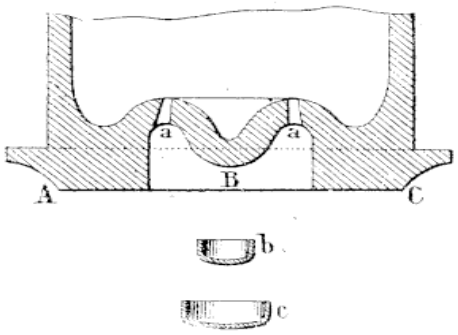


Fig. 73.

Les étuis sont vernis intérieurement, et la poudre est séparée de la balle par un *lubrificateur* L ; c'est une pastille formée d'un mélange de cire et de suif, et enveloppée de papier.

La balle est entourée d'un *calepin* C, graissé, en papier, pour empêcher l'emplombage des rayures. La hauteur de graissage est de 14^{mm}.

L'*amorce* est une capsule en cuivre rouge vernie à l'intérieur, et contenant du fulminate de mercure.

Le *couvre-amorce* sert à maintenir l'amorce dans son logement et à fermer toute issue au gaz ; il est en laiton, et serti dans un logement qui est pratiqué dans le culot de l'étui. Le joint est recouvert de vernis.

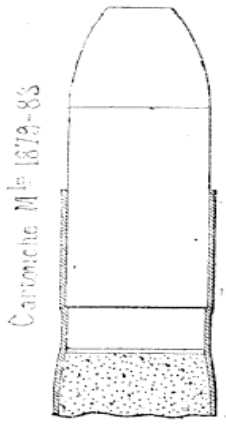


Fig. 74.

Le culot est représenté figure 73. La partie renflée B est l'*enclume*, qui sert de point d'appui à l'amorce quand le percuteur la frappe ; en *a a* sont deux évents pour communiquer le feu à la poudre. *b* est la capsule, et *c* le couvre-amorce, qui, lorsqu'il est en place, doit se trouver en arrière du plan AC, afin que si la cartouche tombe, le couvre-amorce ne reçoive pas de choc.

Quelques modifications ont été apportées à la cartouche Mle 1879. On a donné à la balle un méplat à l'avant ; puis, pour que la poudre soit plus à l'abri dans l'étui, on a assuré l'étanchéité à la jonction de la balle en étranglant un peu le collet de l'étui, à la hauteur du lubrificateur (fig. 74). On a constitué

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ainsi le M^le 1879-1883. Ce sont ces cartouches qui sont actuellement employées par la Guerre et la Marine en dehors des cartouches spéciales au nouveau fusil Lebel.

§ 453. **Renseignements généraux sur le fusil M^le 1878 Marine et sur le fusil M^le 1884 :**

Calibre		11^mm
Nombre de rayures (heliçoïdales)		4
Pas	en millimètres	550
	en calibres	50
Largeur		4^mm,32
Profondeur		0^mm,25
Largeur des cloisons		4^mm,32
Vitesse initiale		447^m
Vitesse à 25^m de la bouche		430^m
Flèche de la trajectoire de	1.000^m	17^m,03
	600^m	4^m,73
	300^m	0^m,93
Zone dangereuse pour un fantassin (hauteur 1^m,60) à	1.000^m	19^m
	600^m	43^m
	300^m	144^m

		M^le 1878	M^le 1884
Longueur du fusil, de la plaque de couche à la tranche de la bouche, mesurée parallèlement à l'axe du canon	Sans baïonnette	1.243^mm,5	1.248^mm,5
	Avec baïonnette	1.764^mm	1.769^mm
Poids du fusil non chargé, magasin vide	Sans baïonnette	4^kg,500	4^kg,200
	Avec baïonnette	5^kg,080	4^kg,780
Poids du fusil chargé, magasin chargé (9 cartouches)	Sans baïonnette	4^kg,891	4^kg,638
	Avec baïonnette	5^kg,471	5^kg,218
Temps nécessaire au démontage		2^m5^s	plus court.
— au remontage		3^m10^s	
— pour charger (9 ou 10 cartouches)		21^s	23^s
Cartouches	Poids de l'étui	12^gr,50	»
	— de la balle	25^gr	»
	— de la charge	5^gr,25 F_3	»
Poids total y compris la graisse		43^gr,8	»
Dosage de la poudre F_3	Salpêtre	75	»
	Soufre	10	»
	Charbon	15	»
Temps nécessaire pour tirer à répétition les 9 ou 10 cartouches		22^s	24^s

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

FUSILS ADOPTÉS A L'ÉTRANGER

FUSIL MAUSER (ALLEMAGNE)

§ 454. — L'Allemagne a adopté en 1871 le fusil Mauser, ainsi que la carabine de chasseurs et la carabine de cavalerie du même système.

Ces trois armes tirent la même cartouche à percussion centrale. Le fusil est représenté planche XX, figure 2.

§ 455. **Canon.** — Le canon est en acier fondu. Sa longueur totale est de $0^m,885$, celle de la partie rayée est de $0^m,785$. Il a quatre rayures de $0^{mm},25$ de profondeur ; les pleins sont égaux aux vides ; le pas est de $0^m,55$.

La chambre comporte trois troncs de cône successifs, le dernier se raccorde avec l'âme. Quand la cartouche est dans la chambre, la balle se trouve à l'origine des rayures. A l'entrée de la chambre est la feuillure destinée à loger le bourrelet de la cartouche.

Le guidon est placé exactement dans le plan de symétrie passant par l'axe du canon.

A la partie inférieure est un tenon où passe la vis servant à fixer l'embouchoir.

§ 456. **Boîte de culasse.** — La boîte de culasse B (vue 3) offre une grande analogie avec celle du fusil français; elle en diffère par quelques détails que voici :

La vis arrêtoir est remplacée par une *rondelle arrêtoir* A (vue 2) portée par le renfort du cylindre ; la partie postérieure de la boîte de culasse présente un bourrelet et une cavité demi-circulaire, contre laquelle vient buter la rondelle pour limiter le mouvement d'ouverture.

L'échancrure pratiquée dans la boîte de culasse possède en avant une rampe hélicoïdale, contre laquelle glisse l'extrémité du renfort du cylindre dans le mouvement de fermeture, et qui joue le même rôle que la rampe latérale du cylindre dans le fusil français. Elle donne à la culasse mobile un avancement progressif pour opérer la fermeture complète ; et, dans le mouvement d'ou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

verture, elle l'entraîne légèrement en arrière, ce qui facilite le décollement de l'étui.

Le rempart est muni à sa partie supérieure d'une rampe hélicoïdale, dont l'action combinée avec celle que nous venons de décrire facilite la fermeture.

Dans la paroi gauche interne on a pratiqué, pour le passage de l'extracteur, une rainure, dont la profondeur est progressive de l'arrière à l'avant, pour assurer le jeu de l'extracteur sans rendre pénible le mouvement de la culasse mobile.

La boîte de culasse est reliée à la monture par deux vis : l'une V (vue 1), qui se visse dans la feuille de sous-garde, l'autre V′, qui, traversant la partie antérieure de la feuille de sous-garde, se visse dans la boîte de culasse.

§ 457. **Mécanisme de fermeture, cylindre, tête mobile.** — La fermeture se fait au moyen du cylindre et de la tête mobile (vues 4 et 10).

Le renfort du cylindre R a la même largeur que l'échancrure de la boîte de culasse, dans laquelle il se loge quand la culasse est fermée ; il dépasse le corps du cylindre, et c'est sous ce prolongement P que se loge la tête mobile. Celle-ci porte un renfort, qui, lorsque le levier est redressé, vient se placer dans une mortaise de la queue du renfort du cylindre, et rend ces deux pièces solidaires.

Quand on tourne le levier de manœuvre L à droite, pour opérer la fermeture, la tête mobile est maintenue en place par l'extracteur logé dans une rainure spéciale, et reste fixe.

Lorsqu'on ouvre le tonnerre, la mortaise saisit la tête mobile ; et le cylindre, dans son mouvement en arrière, l'entraîne avec lui en même temps que l'étui extrait.

En bas du cylindre, pour le passage de la tête de gâchette, est une fente se terminant à 17^{mm} de la tranche antérieure du cylindre.

A l'arrière du cylindre est pratiquée la rainure de départ, dans laquelle s'engage le coin d'arrêt du chien quand on fait partir le coup. La paroi droite est taillée en rampe hélicoïdale, comme le coin d'arrêt, afin de produire l'armé automatique lorsqu'on tourne le levier de droite à gauche. A gauche de cette rainure est une entaille destinée à loger l'extrémité de la pièce d'arrêt du système de sûreté, que nous étudierons plus loin.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La tête mobile T est terminée à l'arrière par une queue q, qui s'engage dans le cylindre. Sa tranche postérieure est en contact intime avec la face antérieure du cylindre.

La tête mobile est munie d'un évidement circulaire donnant une large issue aux gaz dans les ruptures de l'étui. Elle est percée suivant son axe pour le passage du percuteur ; et sa queue est percée d'une fente où se loge un méplat de cette pièce ; de la sorte, les mouvements du percuteur autour de son axe dépendent de ceux de la tête mobile.

L'extracteur se loge dans une mortaise à queue d'aronde ménagée sur le côté droit.

§ 458. **Mécanisme de percussion. Percuteur. Chien.** — Le percuteur P′ (vue 14) est une tige d'acier ayant 165^{mm} de long, et comprenant : une pointe tronconique et un méplat qui traversent la tête mobile ; un épaulement qui s'appuie sur la queue de la tête mobile ; une partie cylindrique de 6^{mm},2 de diamètre logée dans le cylindre ; enfin un cylindre avec méplat latéral logé, partie dans le cylindre, partie dans le chien.

Le méplat sert à permettre le passage d'une vis goupille logée dans la paroi de gauche du chien, et débouchant dans le canal qui le traverse suivant son axe. Ce méplat a pour effet d'empêcher tout mouvement de rotation du chien.

Enfin le percuteur se termine par une partie filetée destinée au *bouton-écrou a* (vues 1, 4 et 5. Ce dernier sert à assembler les différentes parties de la culasse mobile par l'intermédiaire du percuteur. Il est muni d'un ergot qui vient se loger dans une rainure correspondante du chien, et empêche le bouton de se dévisser.

Le chien C porte le coin d'arrêt à rampe hélicoïdale dont il a été question plus haut ; et à sa partie supérieure il est muni d'un renfort r qui contient la tige du système de sûreté.

§ 459. **Système de sûreté.** — Cet appareil (vue 8) sert à enrayer le mécanisme de percussion quand l'arme est chargée, et qu'on ne veut pas faire feu. Il comprend : le *pavillon p* placé derrière le renfort du chien, et une tige cylindrique *e* coupée à mi-fer suivant son axe et logée dans le renfort du chien. L'assemblage de cette pièce avec le chien est produit par une vis goupille placée dans une gorge circulaire de la tige.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 460. **Détente**. — Le talon du ressort *m* (vue 1) qui actionne la tête de gâchette est fixé au canon par une vis unique.

Le corps arrondi de la détente D est à double bossette afin de rendre la détente courte. Voici comment fonctionne cet appareil :

Quand on donne une première pression, qui a pour effet d'abaisser en partie la tête de gâchette, on éprouve une légère résistance provenant de l'appui de la bossette sur la boîte de culasse. A ce moment, la tête de gâchette est descendue des 2/3 environ de la quantité nécessaire pour dégager le chien. Lorsqu'on continue à presser, l'appui se fait sur la seconde bossette ; le chien est complètement dégagé. Enfin la butée se produit sur une queue qui prolonge le corps de la détente pour en limiter le mouvement. Pendant la première portion de sa course, la détente est plus longue et plus douce que dans la seconde partie.

§ 461. **Fonctionnement**. — Supposons qu'un coup vienne de partir, et que l'arme soit à l'abattu ; la succession des mouvements est la même que dans le fusil français :

1° Le levier est ramené de droite à gauche ; ce mouvement produit l'armé automatique. Le renfort du cylindre se trouve dans le prolongement de celui du chien. En outre, par suite du mouvement de glissement de l'extrémité du renfort contre la rampe antérieure de la boîte de culasse, le mécanisme de fermeture entier recule d'environ 4^{mm}. Le chien franchit alors la tête de gâchette.

2° La culasse mobile est ramenée en arrière, jusqu'à ce que la rondelle arrêtoir vienne buter sur le bourrelet de la boîte de culasse. Dans ce mouvement, l'extracteur entraîne l'étui vide. Comme le fusil ne comporte pas d'éjecteur, l'étui reste dans la boîte, et on le chasse par un léger mouvement de la main gauche.

3° Une cartouche étant placée dans la chambre, la culasse mobile est poussée en avant ; et elle est arrêtée par l'arrondi de la boîte de culasse.

4° Le levier est rabattu à droite. Le cylindre et la tête mobile prennent aussitôt un mouvement en avant, et le coin d'arrêt se trouve en présence de la rainure de départ ; le chien se porte en avant jusqu'à ce que la tranche de la noix vienne appuyer contre la tête de gâchette. A mesure que la rotation s'exécute, le sys-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tème de fermeture avance progressivement, et le ressort achève de se bander.

Pour faire partir le coup, on exerce sur la détente une première pression, qui amène le contact de la première bossette avec la boîte de culasse, et fait descendre en partie la tête de gâchette ; une deuxième pression active la descente, et dégage le chien, qui avec le percuteur et le bouton écrou est poussé en avant par le ressort à boudin.

§ 462. **Fonctionnement du système de sûreté**. — La pièce de sûreté peut tourner dans le renfort du chien. Lorsque son pavillon est à gauche, la partie pleine de la tige se confond avec la voûte inférieure du renfort du chien, qui peut, dès lors, se porter en avant. Quand le pavillon est à droite, la partie pleine, qui est tournée en dessous, fait saillie hors de la voûte, et vient correspondre à une rainure pratiquée sur le corps du cylindre ; la butée empêche le mouvement du chien.

Supposons le fusil chargé, le levier rabattu à droite, et l'arme prête à faire feu ; si l'on tourne le pavillon à droite, le chien se porte un peu en arrière à $1^{mm},5$ de la tête de la gâchette, et son mouvement est enrayé.

§ 463. **Cartouche à balle** M^{le} 71. — L'étui, qui est en laiton, est en forme de bouteille, et présente à l'arrière un bourrelet faisant saillie. L'alvéole destinée à recevoir l'amorce se trouve au milieu du culot ; elle est pourvue d'une enclume et de deux évents, par lesquels l'inflammation se transmet dans l'intérieur de la cartouche. L'étui est d'une seule venue, c'est-à-dire que ses parois ne font qu'une pièce avec le culot. Sauf dans la partie qui reçoit la balle, la paroi intérieure est vernie, pour préserver la poudre et le métal de l'action décomposante qu'ils exercent l'un sur l'autre.

L'amorce est une capsule en laiton renfermant la matière fulminante, qui est recouverte d'un feuille d'étain. Le joint de l'amorce est rempli de vernis noir, pour empêcher l'humidité de pénétrer de ce côté.

La charge comporte 5 grammes de nouvelle poudre à fusil M^{le} 71.

La poudre est séparée de la balle par une bourre en cire et deux rondelles de carton, qui constituent l'obturation de la charge

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du côté de la balle. Au départ du coup, elles empêchent les gaz de pénétrer entre la balle et les parois du canon, et lubrifient ce dernier.

La balle, en plomb étiré comprimé, pèse 25 grammes ; elle est cylindrique et terminée par une pointe aplatie ; elle est entourée, dans sa partie postérieure cylindrique, d'un calepin de papier, pour éviter l'emplombage du canon. Dans le même but, et pour diminuer les frottements, la partie de la balle placée en dehors de l'étui et le calepin sont enduits de graisse. La matière lubrifiante consiste en graisse de mouton ou de bœuf avec de la paraffine.

La cartouche complète est longue de 78^{mm}, et pèse 43 grammes.

L'approvisionnement dans le corps d'armée est, par fusil, de 170 cartouches, réparties de la manière suivante :

Cartouches portées par l'homme	80
— par les caissons de bataillon	19
— par les voitures de compagnie	11
— par les 4 colonnes de munitions d'infanterie	60
Total	170

§ 464. **Appareil de pointage.** — L'appareil de pointage (vue 7) comprend un guidon semblable à celui du fusil français, avec une hausse à curseur et à lamette.

Le pied de hausse, brasé sur le canon, porte le cran de mire de 270^{m}. Sur le pied est fixée une lamette munie du cran de mire correspondant à 350^{m}.

En arrière est placée une hausse avec curseur à rallonge que l'on ne peut rabattre qu'en avant.

La planche porte des traits indicateurs pour les distances variant de 50 en 50 mètres. Les divisions comprises entre 500 et 1.000^{m} sont tracées sur le côté gauche. Pour les distances de 1.300 à 1.600^{m}, les traits sont sur le côté droit.

Sur le curseur se trouvent : un cran de mire inférieur pour 400^{m} ; un cran intermédiaire pour 1.100^{m} ; et enfin le cran supérieur pour 1.200^{m}.

Les crans de mire de la lamette et du curseur sont situés à 1^{mm} environ du plan de tir, pour corriger la déviation due au défaut de symétrie de l'arme.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 465. **Renseignements généraux.**

PRÉCISION ET TENSION DES TRAJECTOIRES.

DISTANCES en mètres	PRÉCISION			TENSION Ordonnées de la trajectoire moyenne mètres			OBSERVATIONS
				Hausses employées			
	Rayon du cercle contenant 5 p. 100 des coups cm	Écart vertical cm	Écart horizontal cm	500m	1.000m	1.600m	
100	7	8	8	1,79	5,51	12,13	Ces nombres sont tirés du règlement prussien sur le tir.
200	14	17	16	2,89	10,33	23,56	
300	21	29	34	3,08	14,25	34,11	
400	30	42	34	2,17	17,08	43,57	
500	41	59	48	0	18,57	51,74	
600	55	79	63		16,66	58,43	
700	73	106	84		17,02	63,44	
800	95	140	106		13,50	66,57	
900	121	189	132		7,89	67,62	
1.000	158	237	162		0	66,39	
1.100	202	303	194			62,68	
1.200	256	380	230			56,29	
1.300	321	482	267			47,03	
1.400	403	606	306			36,69	
1.500	502	756	348			19,08	
1.600	624	936	393			0	

Vitesse initiale 448m

Flèche de la trajectoire de . . . . . 1.000m 17m,35
600m 4m,79
300m 0m,94

Zone dangereuse pour un fantassin à 1.000m 18m,5
600m 43m
300m 140m

Poids de l'arme. 4kg,385

Calibre 11mm

§ 466. **Appréciation du fusil Mauser.** — Ce fusil présente les avantages qui caractérisent le type des armes à verrou; et il en a les inconvénients, c'est-à-dire un manque de justesse provenant de son défaut de symétrie. On a dû, pour atténuer cet effet, reporter les crans de mire légèrement sur la gauche.

Le mécanisme est simple et fonctionne d'une façon bien régulière; les pièces sont d'une construction facile; mais il présente quelques détails défectueux.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le mode de liaison du percuteur et du bouton-écrou laisse à désirer. Car le mécanisme peut être remonté sans que le bouton-écrou ait été vissé à fond.

Un défaut plus grave consiste en ce que le percuteur, le bouton-écrou et le chien ne sont pas assez liés dans le sens longitudinal. Quand on fait partir le coup, le percuteur et le bouton-écrou, poussés par le ressort, se portent en avant avec le chien qui est entraîné par le bouton. Quand le percuteur frappe l'amorce, il éprouve un retard dû à la résistance de celle-ci. Le chien continue son chemin en vertu de la vitesse acquise, et vient heurter le cylindre. Il ne participe donc pas tout à fait au choc; et, comme la masse du percuteur et du bouton-écrou est insuffisante pour produire sûrement l'écrasement de l'amorce, il en résulte des ratés; à moins qu'on ne rende l'amorce plus sensible, ce qui constitue un danger pour le transport des munitions.

Cet inconvénient n'existe pas dans le fusil français, où le chien participe au choc. Des modifications, dans ce sens, sont expérimentées depuis peu de temps en Allemagne. On songe aussi à produire l'extraction automatique de l'étui qui, comme nous l'avons vu, se fait jusqu'à présent à la main.

L'adjonction toute récente d'un magasin au type de fusil qui nous occupe a plutôt compromis qu'amélioré l'arme (voir § 535).

FUSIL REMINGTON

§ 467. — Le fusil Remington est une arme à bloc, avec culasse tournant autour d'un axe transversal situé au-dessous de l'axe du canon.

Il est adopté, avec diverses modifications de calibre, par les États-Unis, la Suède, la Norwège, le Danemark, la Hollande, l'Espagne, la Grèce, l'Égypte et la Chine. Nous décrirons comme exemple le fusil adopté par l'Égypte. Il est représenté planche XXI, figure 1.

§ 468. **Canon.** — Le canon a 11^{mm} de calibre; il a cinq rayures hélicoïdales tournant de gauche à droite, avec un pas de 48^{cm} et une profondeur de $1^{mm},3$. L'extrémité porte le guidon. A l'autre bout est une portion filetée qui se visse dans la boîte de culasse. Dans la partie inférieure, à $0^{cm},20$ de la boîte de cu-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lasse, le canon est muni d'un tenon de recul qui lui est ajusté par une vis et une goupille.

§ 469. **Boîte de culasse**. — Elle est formée de deux joues plates P, P′ (vue 3) réunies à l'avant par une partie cylindrique C, où se visse le canon. L'assemblage du canon et de la boîte de culasse est complété par une forte vis placée au bas de la partie cylindrique. La feuille de sous-garde S forme le fond de la boîte.

§ 470. **Mécanisme de fermeture**. — Le mécanisme de fermeture est composé de deux blocs (vues 1, 2, 4 et 5) : 1° le *bloc de culasse proprement dit* F ; 2° le *chien* D.

Le bloc de culasse, en acier, peut tourner autour d'un axe solide A ; et il présente en avant une surface plane, qui, s'appliquant sur le tonnerre, opère la fermeture. Il est maintenu dans cette position par un *ressort arrêtoir*, qui exerce une action énergique sur un évidement ménagé au-dessous de l'axe. Un ergot latéral sert à mettre en mouvement l'extracteur. Une crête quadrillée *c* est destinée à la manœuvre du bloc.

L'action du ressort arrêtoir peut être facilement vaincue par le pouce dans le mouvement d'ouverture ; elle ne suffirait pas pour vaincre le choc produit par le coup. Aussi la position de cette pièce est-elle assurée par le chien.

Le chien est mobile autour d'un axe très fort E. Sa surface est disposée de façon à offrir, au moment du coup, un appui au bloc par une large surface convexe, qui vient épouser la partie concave que ce dernier présente à l'arrière. De cette façon tout mouvement en arrière est rendu impossible. Pour assurer encore la fermeture et empêcher un glissement des deux surfaces en contact, la pointe du chien épouse dans le bloc la forme de la partie postérieure du logement ménagé au percuteur, et constitue un crochet qui s'oppose au glissement. En bas du chien sont les crans de l'armé *d* et de sûreté *s*.

Le chien est actionné par un grand ressort R à une branche vissé à la feuille de sous-garde. Son extrémité, pressant le crochet taillé à la partie supérieure du chien, tend à le faire pivoter d'arrière en avant.

Le bec de gâchette prenant appui sur les crans du chien résiste à l'effort du ressort.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La gâchette G est actionnée par un ressort plat *p* noyé dans la feuille de sous-garde, et qui sert à maintenir en contact le bec de gâchette avec la surface inférieure du chien.

§ 471. **Mécanisme de percussion**. — Ce mécanisme est formé par le chien et le percuteur M (vues 1, 2 et 7). Ce dernier, qui est logé dans la masse du chien, comporte une petite tige en acier, autour de laquelle s'enroule un ressort à boudin s'appuyant sur une embase *e*. Une vis arrêtoir, qui s'engage dans un évidement V de la tige, limite le mouvement en arrière. Au repos, le ressort force le percuteur à rester en arrière, et la pointe ne fait pas saillie en dehors du bloc. Quand le chien tombe, la résistance du ressort est vaincue ; et la pointe, qui est poussée en avant, vient frapper l'amorce.

§ 472. **Extracteur**. — L'extracteur X (vues 2 et 6) est logé en partie dans l'épaisseur de la chambre. L'ergot du bloc, dont nous avons parlé, saisit une saillie de l'extracteur, et l'entraîne avec lui en même temps que l'étui. L'extraction ne se fait pas complètement. Le bloc dans son mouvement de rotation lâche bientôt la saillie de l'extracteur, et l'opération doit se continuer à la main.

§ 473. **Système de sûreté**. — Le système de sûreté est formé par le cran de sûreté en forme de crochet, qui ne laisse pas dégager le bec de gâchette sans qu'on ait préalablement armé. En outre, comme nous le verrons en décrivant le fonctionnement de l'arme, la disposition des pièces ne permet pas de faire partir le coup sans que le tonnerre soit parfaitement fermé.

§ 474. **Appareil de pointage**. — La planche de hausse est à curseur. Son pied est fixé au canon par trois vis ; il porte quatre gradins pour les distances de 100 à 400^{m}. La planche, pour ces distances, est rabattue en arrière. La planche mobile est graduée pour les distances de 500 à 1.100^{m}.

§ 475. **Fonctionnement**. — Supposons le coup parti. Voici dans quel ordre doivent être exécutés les mouvements :

1° *Armer*. On agit avec le pouce sur la crête quadrillée du chien. Celui-ci tourne autour de son axe, et son entaille inférieure agit sur le grand ressort qui se bande. Le bec de gâchette, poussé par son

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ressort, tombe successivement dans les crans de sûreté et d'armé.

2° *Ouvrir le tonnerre*. En agissant sur la crête du bloc de culasse, on surmonte la résistance du ressort arrêtoir. Le bloc tourne autour de son axe ; sa partie convexe s'adapte à la surface concave du chien. Pendant ce temps, l'ergot saisit l'extracteur qui vient en arrière avec l'étui. On achève de chasser celui-ci avec la main, et l'on met dans la chambre une nouvelle cartouche, dont le bourrelet enfonce l'extracteur dans son logement.

3° *Fermer le tonnerre*. On pousse le bloc de culasse d'arrière en avant. Quand sa face antérieure coïncide avec la tranche du tonnerre, le ressort arrêtoir, qui a pénétré dans la rainure inférieure du bloc, le maintient en place.

4° *Faire partir le coup*. On presse sur la détente pour vaincre la résistance du ressort gâchette. Le bec de gâchette quitte le cran d'armé ; et le chien poussé par le grand ressort s'abat sur le percuteur, qui vient frapper l'amorce.

Quand, l'arme étant chargée, on ne veut pas faire partir le coup immédiatement, on met le chien au cran de sûreté, en agissant sur la détente et en accompagnant le chien. La forme en crochet du cran de sûreté empêche le bec de gâchette d'être dégagé par l'action exercée sur la détente.

En outre de ce système de sûreté, le mécanisme est disposé de manière à rendre impossible tout départ avant la fermeture complète du bloc. En effet, c'est seulement quand le bloc présente sa face convexe en présence de la partie concave du chien que celui-ci peut se porter en avant. De plus, le chien étant armé, tant que le bloc est en arrière, la branche postérieure de l'arrêtoir appuie sous le bec de gâchette, et l'empêche de sortir du cran d'armé.

§ 476. **Monture. Garnitures.** — La monture est en deux pièces : le fût et la crosse. Le fût est maintenu par les garnitures ; et pour lui donner une fixité indépendante du serrage de celles-ci, il est terminé par un ressaut logé dans la partie antérieure de la boîte de culasse. La crosse est reliée à la boîte de culasse par une vis.

Le fût est réuni au canon par trois boucles ; en outre, l'extrémité du fût est garanti par une capuche. La boucle du milieu porte le battant pour la bretelle, l'autre battant est à la crosse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 477. **Renseignements généraux** :

Flèche de la trajectoire de	1.000m	18m,15
	600m	5m,02
	300m	0m,98
Zone dangereuse pour un fantassin à	1.000m	20m
	600m	40m
	300m	129m
Vitesse initiale		428m
Poids de l'arme		4kg,170
Calibre		11mm
Poids de la balle		25gr,1
Poids de la charge		5gr
Poids de la cartouche		41gr,4
Largeur de la cartouche		70mm,5
Graduation extrême de la hausse		1.000m

§ 478. **Appréciation de l'arme.** — Ce fusil possède une grande justesse avec des charges faisant varier la vitesse initiale entre 400m et 430m.

Le système de fermeture est très simple, et comporte peu d'organes. Le mécanisme est bien protégé contre l'encrassement venant soit du tir, soit des corps étrangers, à la condition que les surfaces du chien et du bloc soient parfaitement ajustées et ne laissent pas de jeu entre elles. Dans le cas contraire, et si les axes du bloc et du chien n'étaient pas parfaitement ajustés, le recul ne se répartirait pas à la fois sur ces deux pièces, et la solidité de l'arme serait compromise. Il faut aussi que les cartouches soient bien régulières, et que la feuillure ait des dimensions rigoureuses ; car si la tranche antérieure du bloc ne s'appliquait pas exactement contre la tranche du tonnerre, le coup ne pourrait pas partir.

Un inconvénient de l'arme provient de la faiblesse et du peu de course de l'extracteur.

FUSIL MARTINI-HENRY (ANGLETERRE)

§ 479. — Le fusil Martini-Henry est adopté en Angleterre pour l'infanterie ; la cavalerie est munie d'une carabine construite d'après le même système.

C'est une arme à bloc, avec culasse tombante tournant autour d'un axe transversal situé à l'arrière de la boîte de culasse et au-dessus de l'axe du canon.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La cartouche est à percussion centrale.
Ce fusil est représenté planche XXI, figure 2.

§ 480. **Canon.** — Le canon, en acier fondu, a une longueur totale de 840^{mm}; il est rayé sur 778^{mm}. Le calibre a 11^{mm},43. Les rayures hélicoïdales, au nombre de sept, tournent de gauche à droite ; elles ont un pas de 0^{m},56. Leur profil a été décrit § 409. Le canon est terminé par un bout fileté F (vues 1 et 2) qui se visse dans la boîte de culasse. Il ne porte ni tenon ni directrice ; la baïonnette est fixée à la dernière boucle d'assemblage.

§ 481. **Boîte de culasse.** — La boîte de culasse B, qui a une forme parallélipipédique, renferme tout le mécanisme, et relie le fût à la crosse. La partie inférieure est fermée par la pièce de détente qui fait corps avec le pontet.

§ 482. **Mécanisme de fermeture.** — Ce mécanisme comprend le *bloc* et le *levier de manœuvre*.

Le bloc A (vues 1, 2, 3 et 6) est une pièce massive en acier, mobile autour d'un axe a transversal à l'axe du canon. En haut, le bloc est creusé en forme de cuiller, pour faciliter l'introduction de la cartouche et l'enlèvement de l'étui vide. En dessous et latéralement sont pratiqués deux évidements, où viennent se loger les bras du levier de manœuvre destinés à produire l'abaissement et le relèvement du bloc.

La face antérieure de la pièce est plane ; elle produit l'obturation. L'intérieur du bloc est percé pour recevoir le mécanisme de percussion qui le traverse.

Le levier, qui sert à produire le mouvement du bloc, se compose d'une branche extérieure L (vue 5), et d'une fourchette pq renfermée dans la boîte de culasse, et dont les dents pénètrent dans des évidements correspondants du bloc. Le levier pivote autour d'un axe l; et en-dessous il est muni d'un talon t destiné à agir sur la noix, comme nous le verrons plus loin.

Quand le bloc est relevé, sa face antérieure presse le culot de la cartouche ; et le choc produit par le coup est transmis par l'axe a, au fond de la boîte de culasse. Au moment du départ, le bloc est maintenu en place par la fourchette du levier ; et, pour empêcher tout déplacement de ce dernier, le bout de sa grande branche est griffé dans un logement f (vue 1), sous la poignée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 483. **Mécanisme de percussion.** — Le percuteur P (vues 1, 2 et 11) est mis en action par un ressort à boudin court mais très énergique, prenant appui sur une embase de la tige. Sa pointe fait une saillie de 2^{mm} sur la face antérieure du bloc. A sa partie postérieure, le percuteur est traversé de part en part par une mortaise X.

Le logement ménagé dans le bloc, pour recevoir l'appareil de percussion, est fermé à l'arrière par une vis-bouchon *b* percée pour laisser passer le percuteur.

Le ressort à boudin prenant appui sur l'embase du percuteur et sur le bouchon, tend toujours à pousser le percuteur en avant.

A l'extrémité de la tige est une fente permettant de faire tourner le percuteur, de telle sorte que la mortaise corresponde avec la fente pratiquée en bas du bloc.

§ 484. **Système de détente.** — Le mécanisme de détente est composé de la *noix* et de la *détente-gâchette*.

La noix *nn'* (vues 1, 2 et 7), placée sur l'axe *l* du levier, présente deux branches en équerre : l'une *n* pénètre dans la mortaise du percuteur ; l'autre *n'* porte un cran pour la gâchette. Le mouvement de la noix est indépendant de celui du levier ; mais au moment où l'on rabat celui-ci, son talon *t* bute contre la branche antérieure *n'* de la noix et la pousse. La branche *n* tournant en arrière entraine le percuteur par l'intermédiaire de la mortaise ; et le ressort se bande.

Le mouvement de la branche *n* a encore pour effet de contribuer à l'abaissement du bloc.

La détente D, qui fait office de gâchette, est munie d'un ressort *r*, qui agit sur un talon de la détente de façon à en faire constamment saillir le bec.

Quand le bloc est descendu, et que le levier L est à l'extrémité de sa course en avant, le cran de la noix a dépassé le bec de détente qui prend appui sur ce cran.

En ramenant le levier en arrière, on fait remonter le bloc. La noix reste maintenue par le bec de la détente. Quant au percuteur, il se trouve de plus en plus poussé vers l'arrière ; et son ressort achève de se bander.

Si maintenant on presse la détente, le bec abandonne le cran de la noix. Celle-ci, qui n'est plus soutenue, cède au ressort à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

boudin ; et elle pivote en abandonnant le percuteur qui est vivement poussé en avant.

§ 485. **Extracteur.** — L'extracteur O (vues 1, 2 et 9) est un levier coudé, pivotant autour d'un axe *m* perpendiculaire au plan de tir. La branche supérieure a la forme d'une fourche, dont les deux dents sont munies de griffes ; celles-ci se logent dans un encastrement ménagé dans la feuillure de la chambre, et doivent saisir le bourrelet de l'étui.

La branche inférieure, placée sous le bloc, est actionnée par ce dernier dans son mouvement de descente. L'extracteur pivote sur son axe ; et les griffes sortant de leur encastrement entraînent la cartouche.

§ 486. **Fonctionnement.** — Supposons que le coup vienne de partir ; voici quelles manœuvres devront être exécutées :

1° Ouvrir le tonnerre, en agissant avec le pouce sur le levier L (vue 1), de manière à l'amener en avant. La fourchette du levier force le bloc à descendre. La noix participant à ce mouvement de rotation entraîne le percuteur, et bande son ressort, en même temps qu'elle contribue à la descente du bloc. Celui-ci tombant sur la branche inférieure de l'extracteur, le fait pivoter ; et l'étui est entraîné en dehors.

En même temps le cran de la noix se met en prise avec le bec de gâchette.

On place alors une cartouche sur le bloc ; et on la pousse avec le doigt au fond de la chambre (vue 2).

2° Fermer le tonnerre. Le levier L est ramené en arrière (vue 3) ; et le bloc, mis en mouvement par la fourchette, se relève. Sa face antérieure presse la branche supérieure de l'extracteur, dont les griffes rentrent dans leur logement. Le bloc est maintenu en place par la fourchette du levier.

3° Faire partir le coup. On presse sur la détente. Le bec se dégage du cran de la noix, qui cède au ressort à boudin. Le percuteur est poussé en avant, et frappe l'amorce.

§ 487. **Système de sûreté.** — La noix et le levier de manœuvre peuvent tourner indépendamment l'un de l'autre ; car l'axe qui les porte a un profil carré à l'endroit où s'ajuste la noix

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

(vue 7), tandis qu'il est circulaire sur la partie où est adapté le levier. Un index I (vue 8), qui fait corps avec la noix et qui apparaît sur la joue droite de la boîte de culasse, montre à l'extérieur si la noix est en arrière ou en avant, c'est-à-dire si l'arme est à l'abattu ou à l'armé.

§ 488. **Monture et garnitures**. — La monture est en deux pièces : le fût et la crosse. Le fût et le canon sont reliés entre eux par deux boucles serrées au moyen de vis. La boucle antérieure porte un tenon pour la baïonnette, et un battant pour la bretelle ; l'autre battant est fixé à l'avant du pontet. Une capuche garantit l'extrémité du fût ; elle porte un épaulement, où s'engage une entaille de la baguette qui la retient dans son canal.

La poignée et la crosse sont reliées à la boîte de culasse par une vis, qui pénètre dans un trou ménagé sous la plaque de couche.

§ 489. **Cartouche**. — La balle contient 92 de plomb et 8 d'étain ; elle est cylindro-ogivale, et elle porte en arrière deux cannelures destinées au sertissage du collet. Elle pèse $31^{gr},10$. Son calibre est de $11^{mm},43$. La charge est de $5^{gr},50$ de poudre ; elle est séparée de la balle par une rondelle de cire placée entre deux lames minces de carton. La balle est enveloppée d'un calepin ciré sur la moitié de sa hauteur. Le poids total de la cartouche est de 48 grammes.

L'approvisionnement dans l'infanterie est par fusil :

Cartouches portées par l'homme		70
—	par les voitures de bataillon	30
—	par les parcs divisionnaires	36
—	par les parcs de corps d'armée	36
	Total	172

Les parcs mobiles et les établissements sédentaires en arrière ont une réserve de 300 cartouches par fusil.

§ 490. **Renseignements généraux**. — La vitesse initiale est d'environ 416^{mm}. Pour la précision, voici les résultats moyens d'une série d'expériences :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

DISTANCES	ÉCART VERTICAL moyen	ÉCART HORIZONTAL moyen
300m	13m,8	16m,0
400m	17m,5	16m,8
600m	37m,5	20m,7
1.000m	62m,5	27m,0

D'après les expériences faites par une commission anglaise, la balle Martini traverse à 22m un gabion ordinaire rempli de terre argileuse ; à 91m une planche de sapin de 32cm d'épaisseur ou un sac de terre ; à 183m une plaque de fer de 6mm d'épaisseur.

Flèche de la trajectoire de	1.000m	16m,04
	600m	4m,73
	300m	0m,99
Zone dangereuse pour un fantassin à	1.000m	20m
	600m	46m
	300m	129m
Poids de l'arme		4ks,225
Graduation extrême de la hausse		1.180m

§ 491. **Appréciation de l'arme.** — Le fusil Martini est très simple, et ne comporte qu'un nombre limité de pièces fort solides. Comme les armes symétriques, il donne une grande justesse de tir. Mais il a les inconvénients suivants :

La cartouche doit être poussée à fond dans son logement pour qu'on puisse relever le bloc, condition difficile à remplir en temps de guerre par le froid ou l'obscurité. Avec des cartouches un peu bosselées, on ne peut fermer le bloc. Les armes à verrou, au contraire, permettent d'employer des cartouches très déformées.

Le démontage et le remontage sont difficiles.

Le recul est très violent.

L'arme n'a pas de cran de sûreté, et devient dangereuse à manier quand elle est chargée.

L'extracteur, qui agit par choc, fonctionne quelquefois d'une façon défectueuse, ce qui n'arrive pas avec l'arme à verrou, où l'extraction est progressive.

FUSIL BERDAN (RUSSIE)

§ 492. — Le système Berdan Mle 1871 est adopté exclusivement en Russie pour l'infanterie et la cavalerie. C'est une arme

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à verrou avec cartouche métallique à percussion centrale. Ce fusil est représenté planche XXI, figure 3.

§ 493. **Canon**. — Le canon en acier fondu a $0^{m},85$ de longueur. Il porte un tenon pour la baïonnette, et un guidon mobile assemblé à queue d'aronde avec son embase. Les rayures sont à côtes, et au nombre de six, avec un pas de $0^{m},53$ et une profondeur de $0^{mm},25$.

Il n'existe pas de feuillure dans la chambre, et le bourrelet de cartouche fait saillie au-dehors du tonnerre. Aussi l'extrémité postérieure du canon à la sortie de la boite de culasse a-t-elle la forme d'un tronc de cône. La chambre et la partie rayée sont raccordées par un tronc de cône lisse. De cette façon, la balle n'entre dans les rayures qu'après avoir été tout à fait dégagée de l'étui, qu'elle ne peut entraîner dans son mouvement de rotation.

§ 494. **Boîte de culasse**. — Elle est très allongée, et ne présente aucune rampe ni à l'avant ni sur le rempart. L'échancrure n'est ouverte que pour permettre un huitième de tour à la culasse mobile.

§ 495. **Mécanisme de fermeture**. — Ce mécanisme comprend le *cylindre* et la *tête-bouchon*.

Le cylindre C (vues 1, 2 et 3) présente extérieurement un renfort R, dans lequel est logé l'extracteur, et qui porte le levier de manœuvre L.

Le percuteur P et son ressort sont placés dans un canal percé dans l'axe du cylindre. Ce canal présente deux ressauts ; le premier p donne appui au ressort à boudin ; le second r limite en arrière la course du percuteur. En avant et en bas se trouve le cran a, où s'engage le bec de l'arrêtoir-éjecteur u', pour limiter en arrière la course de la culasse mobile.

La tête-bouchon T (vue 4) pénètre par sa queue dans le cylindre, et elle est percée suivant son axe pour le passage du percuteur ; elle est reliée au cylindre par une vis placée sur le côté. A sa partie inférieure, la tête est entaillée suivant un plan incliné, qui permet à la culasse mobile, quand on la pousse en avant, de franchir sans choc le bec de l'arrêtoir-éjecteur. La queue est munie de deux entailles e, e, où pénètre l'embase du percuteur au moment du départ du coup. Dès lors, la tête-bouchon et le cylindre ne pouvant plus tourner, la fermeture est assurée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 496. **Mécanisme de percussion.** — Le percuteur P (vues 1, 2 et 4) est une tige d'acier ayant 18^{cm},5 environ de longueur, et terminée en arrière par un bout fileté *f*, qui se visse dans le chien. Ces deux pièces sont reliées encore par une vis-boulon X, qui rend le percuteur et le chien solidaires.

En avant, le percuteur présente une embase *m* en forme de croisière ayant le profil d'un coin, qui s'engage dans les entailles *e*,*e* de la tête-bouchon. Le ressort à boudin s'appuie à l'avant sur cette embase, et à l'arrière contre le ressaut *p* du cylindre. Le ressort est très long afin de donner plus de liant au mécanisme. Cette disposition est nécessaire, parce que l'armé se fait, comme nous le verrons, sur le bec de gâchette.

Le chien est un cylindre d'acier M (vues 1, 2 et 3). Il est percé suivant son axe d'un canal où se loge le cylindre, et qui se termine par une portion d'un diamètre plus faible où se visse le percuteur. Deux renforts *q* et *n*, placés l'un en haut, l'autre en bas, servent à le diriger dans la boîte de culasse, et l'empêchent de tourner pendant la manœuvre. Le renfort du bas *n* est muni de deux crans, l'un de départ *d*, l'autre de sûreté S. Celui-ci a la forme d'un crochet, pour saisir le bec de gâchette et immobiliser l'appareil de détente.

Le renfort supérieur *q* porte une vis V, qui déborde dans une entaille du cylindre, et limite les mouvements longitudinaux et latéraux du chien.

§ 497. **Système de détente.** — Ce mécanisme comprend la détente et la gâchette.

La détente est un levier coudé *h* O J (vues 1 et 2) tournant autour de l'axe O.

La gâchette est un levier coudé *y t u* mobile autour de l'axe *t;* l'extrémité *y* sert de tête de gâchette ; le ressort *i* agit constamment sur l'extrémité du bras de levier, de manière à relever la tête de gâchette.

Quand on presse sur la queue de détente *h*, le bras J s'abaisse en bandant le ressort *i;* et la tête de gâchette *y* descend en abandonnant le cran.

La pointe *u'* de la gâchette sert d'*arrêtoir* à la culasse mobile, en s'engageant dans l'entaille *a* quand on ramène cette pièce en arrière.

§ 498. **Système de sûreté.** — Ce système est formé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par le cran de sûreté S (vues 1, 2 et 3), comme nous l'avons vu plus haut ; on y a ajouté un loquet L, logé dans le renfort du chien, et dont l'arête intérieure peut s'engager dans deux rainures creusées à la partie postérieure du cylindre.

Nous verrons plus loin le fonctionnement de cet appareil.

§ 499. **Extracteur**. — L'extracteur E (vue 1) est une tige d'acier, actionnée par un ressort à boudin, et munie d'une griffe. Ce mécanisme se trouve logé dans le renfort du cylindre. L'extracteur est maintenu par la vis Z, qui appuie sur un plan incliné surmontant la griffe. A l'état de repos, cette vis maintient l'extracteur dans son logement. Quand on ferme la culasse, la griffe rencontre la cartouche, et l'extracteur rentre dans son logement. A ce moment la partie plane de la tête correspond à la pointe de la vis, et l'espace libre est suffisant pour que la griffe puisse franchir le bourrelet de la cartouche. Le ressort à boudin ramène alors le plan incliné en contact avec la vis, qui force la griffe à s'engager dans le bourrelet, et la maintient dans cette position. Quand on retire la culasse mobile en arrière, la griffe entraîne l'étui ; et, grâce au plan incliné, la pression qu'elle exerce croît avec la résistance à vaincre.

§ 500. **Éjecteur**. — La pointe *u* (vues 1 et 2) de la gâchette sert d'éjecteur. Poussée par le ressort *i*, elle fait saillie dans le fond de la boîte.

§ 501. **Fonctionnement**. — Supposons le coup parti ; le fonctionnement se fait comme il suit :

1° Tourner le levier de droite à gauche. Le cylindre entraîne la tête-bouchon dans son mouvement de rotation. Mais le percuteur retenu par le chien ne peut tourner ; les faces inclinées de son embase glissent dans les entailles de la tête-bouchon, et le percuteur recule, entraînant avec lui le chien ; le ressort à boudin se trouve légèrement bandé.

2° Ramener le levier en arrière jusqu'à ce que le cylindre bute contre l'arrêtoir ; l'étui participant au même mouvement vient frapper l'éjecteur qui le chasse en dehors.

3° Pousser la culasse mobile en avant. L'arrêtoir rentre dans l'épaisseur de la boîte de culasse ; et quand le cran de l'armé du chien rencontre le bec de gâchette, le chien et le percuteur sont

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

arrêtés. Le cylindre seul continue son mouvement, et le ressort à boudin se bande.

Comme on le voit, l'armé est produit pendant la fermeture du tonnerre, et il se fait sur la tête de gâchette. C'est pour ce motif qu'on a donné au ressort une grande longueur, afin de le rendre plus liant et de faciliter le mouvement.

4° Rabattre le levier à droite. Les entailles de la tête-bouchon se trouvent alors vis-à-vis de l'embase du percuteur, qui a sa liberté d'action.

5° Presser sur la détente. La tête de gâchette dégage le chien qui se précipite en avant avec le percuteur. L'embase de celui-ci tombe dans l'entaille de la tête-bouchon, et la pointe frappe l'amorce.

§ 502. **Fonctionnement de l'appareil de sûreté.** — Quand l'arme est chargée et qu'on ne veut pas faire partir le coup, on presse sur la détente pour dégager le cran de l'armé, et l'on accompagne le chien au cran de sûreté, qui est taillé en crochet et immobilise la tête de gâchette.

Le loquet L (vues 1, 2 et 5) complète l'appareil de sûreté. Il a pour but d'empêcher le coup de partir tant que le tonnerre n'est pas fermé ; en même temps il enraye le mécanisme tant que le chien est au cran de sûreté.

Supposons que le loquet soit enlevé, et qu'un choc se produise sur la détente avant la fermeture complète. Le ressort à boudin étant bandé, le percuteur est poussé en avant ; et son embase butant obliquement contre l'entaille de la tête-bouchon peut imprimer un mouvement de rotation au cylindre, et faire partir le coup avant le moment voulu. Le loquet a pour but d'éviter cet accident.

En effet, l'arête g (vue 2) du loquet fait saillie en dedans du chien, et pour que ce dernier puisse marcher en avant, il faut que cette arête se trouve en face d'une des deux rainures du cylindre, ce qui n'arrive que quand le levier est tout à fait relevé ou baissé. D'un autre côté, si l'arête est engagée dans une rainure, le levier ne peut tourner, excepté lorsque le chien est à l'abattu, parce que le bout du loquet tombe alors dans une cavité K pratiquée dans la boîte de culasse, et laisse au levier la liberté de tourner.

L'arête du loquet se trouve dans la rainure inférieure durant le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mouvement longitudinal de la culasse mobile ; elle pénètre à l'intérieur de la rainure de droite lorsqu'on rabat le levier.

L'arête occupe cette dernière position quand l'arme est au cran de sûreté. Comme le chien n'est pas à l'abattu, le loquet ne peut tomber dans la cavité K de la boîte de culasse, et il est impossible de faire tourner le cylindre. L'arme est donc enrayée et, pour lui rendre la liberté, on est obligé de ramener le chien en arrière en agissant sur le bouton.

§ 503. **Renseignements généraux :**

Flèche de la trajectoire de.	1.000m	16m,70
	600m	4m,75
	300m	0m,95
Zone dangereuse pour un fantassin à	1.000m	19m
	600m	45m
	300m	135m
Vitesse initiale		435m
Poids de l'arme.		4kg,295
Calibre		10mm,7
Poids de la balle.		24gr
Poids de la charge		5gr
Poids de la cartouche.		42gr,5
Longueur de la cartouche.		75mm,4
Graduation extrême de la hausse		1.050m

§ 504. **Appréciation de l'arme.** — Le fusil Berdan est remarquable par la qualité du métal de son canon, qui offre une grande résistance ; il se fausse difficilement.

La manœuvre de cette arme est très simple. La longueur du ressort à boudin donne beaucoup de liant au mécanisme ; et les mouvements de la culasse mobile s'opèrent sans effort, ce qui explique la faible dimension du levier.

Le moindre choc peut faire tourner le levier et ouvrir la culasse. Mais cet inconvénient disparaît grâce au loquet de sûreté.

Un défaut de l'arme consiste dans l'arrêt de la culasse mobile sur l'arrêtoir-éjecteur qui n'est pas fixe. L'armé sur la tête de gâchette est aussi une disposition défectueuse. Enfin le nombre de pièces est grand ; le montage et le démontage du mécanisme sont des opérations assez délicates.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

FUSIL WETTERLI A RÉPÉTITION (SUISSE)

§ 505. — Le fusil Wetterli à répétition adopté par la Suisse est une arme à verrou avec magasin dans le fût. La cartouche est à percussion périphérique. Ce fusil peut fonctionner à volonté comme arme à simple coup. Il est représenté Pl. XXII, fig. 1.

§ 506. **Canon.** — Le canon a un calibre de $10^{mm},4$, avec 4 rayures. Celles-ci présentent un pas de $0^{m},66$, une profondeur de $0^{mm},22$ et une largeur de $4^{mm},5$.

Le canon est relié à la boîte de culasse par un bout fileté.

§ 507. **Boîte de culasse.** — La boîte de culasse a en haut la forme d'un cylindre creux où se loge le mécanisme du levier. En bas elle a l'aspect d'un parallélipipède contenant l'auget. A droite est une ouverture elliptique destinée au chargement. A la partie supérieure, la boîte présente une clavette qui sert à limiter le mouvement rétrograde de la culasse mobile.

La boîte de culasse se prolonge à l'arrière par deux branches. Celle d'en haut *b* (vue 1) forme la queue de culasse ; elle est percée d'une rainure dans laquelle coulisse la noix, et où vient aboutir le bec de gâchette *g*. La branche inférieure *b'* forme feuille de sous-garde.

La tranche de la boîte de culasse présente à l'arrière deux coulisses *c*, *c* ; et entre elles deux cloisons en saillie, pour donner appui aux ailettes de la virole.

§ 508. **Mécanisme de fermeture, cylindre.** — Ce mécanisme est constitué par le *cylindre* et la *virole à ailettes*.

Le cylindre D est une longue tige d'acier, présentant en avant une face plane qui s'appuie sur le culot de la cartouche pendant la fermeture. Le cylindre est percé suivant son axe d'un canal pour la tige du percuteur.

A l'arrière est une longue fente où s'introduit la croisière du percuteur. En avant se trouve une mortaise qui reçoit la tête du percuteur.

Aux 2/3 de sa longueur, le cylindre porte un épaulement *e* (vue 2) contre lequel vient s'appuyer la virole à ailettes ; cet épaulement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et la partie antérieure de la virole présentent une rampe hélicoïdale de même pas.

A l'arrière du cylindre est une partie filetée *f*, où se visse le bouton-écrou E (vue 1).

Un logement est ménagé dans le haut du cylindre pour l'extracteur. Dans le bas se trouve une rainure pour le levier d'auget.

§ 509. **Virole à ailettes.** — La virole à ailettes V (vues 1 et 4) est un cylindre court, en acier, portant en arrière un renfort R et le levier de manœuvre L. La tranche antérieure forme, comme nous l'avons dit, une rampe hélicoïdale qui épouse la surface de l'épaulement *e* (vue 2) du cylindre obturateur D. La virole est munie de deux ailettes *g* en saillie séparées par des intervalles égaux aux pleins des cloisons de la boite de culasse. Quand les ailettes sont engagées derrière ces pleins, la virole maintient en place le cylindre qui ne peut marcher en arrière. Dans cette position, le mouvement de rotation de la virole est limité à droite et à gauche par deux ressauts *r*, *r* du renfort, qui butent contre les rebords de la queue de culasse.

La tranche postérieure de la virole est évidée de manière à former deux rampes hélicoïdales opposées. Ces deux surfaces prennent appui sur une des rampes de même pas portées par la croisière du percuteur.

§ 510. **Mécanisme de percussion.** — Le percuteur P (vue 1) est une broche cylindrique en acier, munie d'une croisière AA, venue de forge avec elle, et dont la partie inférieure forme noix. La croisière s'engage dans la fente postérieure du cylindre, et est maintenue dans le plan vertical passant par l'axe de la culasse mobile. Sa tranche antérieure présente une rampe hélicoïdale qui s'adapte à celle de la virole. Sa face postérieure est munie de deux encoches sur lesquelles s'appuie une extrémité du ressort à boudin, dont l'autre bout porte sur le bouton-écrou E ; ce dernier est percé au centre pour le passage du percuteur.

Cette partie du mécanisme est protégée des chocs et de la poussière par un manchon *m*.

§ 511. **Système de détente.** — La gâchette *g* (vue 1), formée d'une longue tige d'acier, présente un ressaut contre lequel s'appuie le ressort *n*, qui la pousse à faire saillie en dehors de la rainure. La gâchette et la détente *d* sont réunies par une vis-goupille.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 512. **Système d'extraction.** — Le système d'extraction est constitué par l'extracteur et l'auget.

L'extracteur H (vues 1 et 5) est une longue lame d'acier, terminée à l'avant par une griffe et un talon *t*, et à l'arrière par un épaulement *o*. Au centre est un crochet *h* qui le réunit au cylindre.

L'extracteur forme ressort de chaque côté du crochet *h*. Le talon de la griffe, en butant contre la clavette de culasse mobile, limite le retrait de cette dernière. Quant à l'épaulement postérieur *o*, nous verrons quel est son but en étudiant le fonctionnement de l'arme.

L'auget, dans son mouvement d'ascension qui est assez brusque, sert d'éjecteur. L'étui vide vient se placer entre ses branches, qui le projettent au dehors.

L'auget I (vues 1 et 3) présente trois compartiments : celui du haut reçoit l'étui vide, qui est maintenu par deux ressauts de métal. Le compartiment intermédiaire est destiné à la cartouche sortant du magasin. Enfin le dernier sert à la manœuvre du levier d'auget *l l'*.

Cette pièce comporte deux branches à angle droit; la plus petite *l* se loge dans la rainure inférieure du cylindre, et, suivant qu'il bute contre l'extrémité d'avant ou d'arrière de cette rainure, le levier, en basculant, relève ou abaisse l'auget. Un ressort *y* maintient le levier dans ses deux positions extrêmes.

§ 513. **Fonctionnement.** — Supposons le coup parti. Le levier est rabattu à droite; la face antérieure de la croisière du percuteur se trouve logée dans le fond de la rampe hélicoïdale de la virole à ailettes, et le ressort à boudin est débandé.

1° On tourne le levier de droite à gauche. Dans ce mouvement, les rampes hélicoïdales de la virole glissent sur celles de la croisière. Celle-ci, qui est engagée dans la fente du cylindre, ne peut tourner; elle recule donc en bandant le ressort; et sa face inférieure, qui forme noix, dépasse la tête de gâchette. L'armé est produit; et, pour que le percuteur marche en avant, il faut qu'on abaisse la gâchette.

Le percuteur a reculé; et sa queue fait saillie hors du bouton-écrou. Quant au cylindre, son épaulement *e* (vue 1) glisse sur la tranche antérieure de la virole; et il se trouve entraîné en arrière par le ressort à boudin. Ce mouvement produit le décollement de l'étui.

Lorsque le levier, arrêté par le ressaut du renfort, est arrivé au

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bout de sa rotation à gauche, la face antérieure de la croisière prend appui sur la partie plane de la tranche postérieure de la virole ; et les ailettes de celle-ci sont en face des coulisses de la boîte de culasse. Le cylindre peut alors être poussé en arrière.

2° Le cylindre est ramené en arrière. L'étui vide se trouve entraîné par l'extracteur au-dessus de l'auget. A la fin du mouvement rétrograde de la culasse mobile, le petit bras *l* du levier d'auget heurte l'extrémité antérieure de la rainure du cylindre ; il bascule, et la grande branche *l'* fait brusquement sortir l'auget. L'étui est rejeté ; et une cartouche qui se trouve placée dans le second compartiment se place vis-à-vis de la chambre. En même temps une cartouche du magasin vient s'appuyer contre la tranche de l'auget à la hauteur du 3e compartiment.

Le mouvement rétrograde de la culasse mobile est limité par le talon *t* de l'extracteur, qui bute sur la clavette. La branche postérieure, qui n'est plus pressée par cette clavette, se relève par l'effet de son élasticité, et sa queue pénètre dans une entaille ménagée en avant de la virole. Celle-ci se trouve ainsi immobilisée, et ses mouvements deviennent solidaires avec ceux du cylindre. S'il en était autrement, la virole pourrait prendre un mouvement de rotation, et ses ailettes ne correspondraient plus aux vides de la boîte de culasse.

3° La culasse mobile est ramenée en avant. Durant ce mouvement, le cylindre pousse la cartouche dans la chambre.

La griffe de l'extracteur saisit le bourrelet. Sa branche postérieure s'engage sous la clavette, qui la fait descendre et dégage l'entaille de la virole.

Le bras *l* du levier d'auget bute alors contre l'extrémité postérieure de la rainure du cylindre ; et l'auget est entraîné vers le bas. Quand l'orifice du 2e compartiment se trouve en face du magasin, une cartouche y est introduite par le ressort à boudin M. La longueur de la rainure du cylindre est calculée de manière à obtenir au moment voulu le mouvement de l'auget.

Lorsque le cylindre est complètement poussé en avant, la noix se trouve encore à une petite distance du bec de gâchette.

4° On rabat le levier à droite ; la rampe hélicoïdale de la virole, agissant sur l'épaulement *e* du cylindre, fait avancer celui-ci, et complète l'obturation. En même temps, la croisière AA glisse sur la tranche plane de la virole ; et quand le levier est rabattu, elle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

se trouve vis-à-vis des deux rainures de départ, et la noix est venue au contact du bec de gâchette.

5° Pour faire partir le coup, on presse sur la détente. La gâchette s'abaisse, et délivre la noix ; le percuteur est poussé en avant par le ressort à boudin.

§ 514. **Renseignements généraux**. — Le magasin M peut recevoir onze cartouches ; l'auget en contient une. Le chargement comporte donc treize cartouches, en comptant celle de la chambre.

Ce fusil peut tirer un coup par deux secondes ; il faut vingt-cinq à trente secondes pour décharger les treize cartouches.

Le tir coup par coup peut se faire à raison de dix à douze coups par minute.

Avec une balle pesant 20^{gr}, et une charge de poudre de $3^{gr},7$, la vitesse de la balle à 25^{m} est environ de 435^{m}.

Distances en mètres	225	300	400	500	600	700	800	900	1.000
Rayon du cercle contenant la meilleure moitié des coups (en centimètres).	12	17	25	35	48	65	86	110	135

Flèche de la trajectoire de	1.000m	19m,15
	600m	5m,25
	300m	1m,02
Zone dangereuse pour un fantassin à	1.000m	17m
	600m	39m
	300m	110m
Poids de l'arme		4kg,600
Calibre		10mm,4
Graduation extrême de la hausse		1.000m

Le mécanisme à répétition est simple, et son fonctionnement régulier.

Le poids de l'arme est mal réparti dans la main du tireur.

FUSIL WETTERLI (ITALIE)

§ 515. **Description**. — Le fusil Wetterli adopté par l'Italie est à simple charge, et est basé sur le même principe que celui de la Suisse ; il n'en diffère que par quelques détails que nous allons passer en revue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La cartouche est à percussion centrale. Le canon a un calibre de $10^{mm},35$; il est rayé sur une longueur de $0^{m},802$ de gauche à droite, au pas de $0^{m},66$. Les rayures ont une profondeur uniforme de $0^{mm},2$, et une largeur de $4^{mm},1$.

La fermeture est obtenue, comme dans le fusil de la Suisse, par un cylindre et une virole à ailettes.

L'appareil à répétition est remplacé par un éjecteur. C'est un ressort noyé dans l'épaisseur de la boite de culasse, à laquelle il est fixé par un bout au moyen d'une goupille. L'étui vide, entraîné par l'extracteur, rencontre l'éjecteur, qui le fait basculer et le chasse hors de la boite de culasse.

§ 516. **Renseignements généraux**. — Le tableau suivant donne quelques renseignements sur la valeur balistique de cette arme :

DISTANCES	TENSION flèches	PRÉCISION rayon du cercle contenant 5 p. 100 des coups	PÉNÉTRATION (*)	OBSERVATIONS
100m	»	0m,081		(*) Sur des plaques de sapin de 0m,027 d'épaisseur, distantes de 0m,50 les unes des autres. Les chiffres de cette colonne indiquent le nombre moyen de plaques traversées.
200m	0m,38	0m,169	5,7	
300m	0m,98	0m,261	4,4	
400m	1m,89	0m,360		
500m	3m,16	0m,470		
600m	4m,88	0m,597		
700m	7m,18	0m,749		
800m	10m,23	0m,930		
900m	14m,24	1m,270		
1.000m	19m,46	1m,565	3,0	
2.750m	»	»	1,5	

L'approvisionnement dans le corps d'armée comprend :

Cartouches portées par l'homme	88
— par le parc divisionnaire	50
— par le parc du corps d'armée	50
Total	188

Vitesse initiale	425m
Poids de l'arme	4kg,200
Poids de la balle	20gr
Poids de la charge	4gr
Poids de la cartouche	34gr
Graduation extrême de la hausse	1.000m

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

FUSIL WERNDL (AUTRICHE)

§ 517. — Le fusil Werndl adopté en 1866 par l'Autriche a reçu, en 1873, de nombreux perfectionnements.

Le type que nous décrivons porte le nom de fusil M^le^ 1866-1877. C'est une arme à barillet tournant autour d'un axe parallèle à celui du canon, avec cartouche métallique à percussion centrale. Elle est représentée planche XXII, figure 2.

§ 518. **Canon**. — Le canon, en acier fondu, a une longueur totale de $0^m,843$; il est rayé sur $0^m,789$. Il comporte six rayures ayant un pas de $0^m,724$; la profondeur est de $0^{mm},2$, et la largeur de $3^{mm},84$. Le calibre a 11^{mm}.

Le canon porte à son extrémité un grand tenon, et sur son embase un guidon assemblé à queue d'aronde.

§ 519. **Boîte de culasse**. — — Elle est formée d'un bloc métallique M (vue 1), renfermant un logement cylindrique pour le barillet et un évidement pour le coin.

§ 520. **Fermeture**. — La fermeture comporte trois pièces : le *barillet*, le *coin* et le *poussoir*.

Le *barillet* B (vues 1, 4 et 5) est un cylindre massif, tournant autour d'un axe A parallèle au canon. Cet axe est fixé, en avant au-dessous de l'entrée de la chambre, en arrière dans la paroi postérieure de la boîte de culasse. Il comporte deux parties méplates X, *y*, dont nous indiquerons le rôle ci-après en parlant du poussoir.

La face antérieure du barillet est plane ; la face postérieure présente une surface hélicoïdale au pas d'environ 3^{mm}. Dans l'intérieur de la pièce sont logés le poussoir et le percuteur.

Une crête quadrillée *q* est destinée à manœuvrer le barillet ; enfin à sa partie supérieure est creusé un auget *a*, qui sert à introduire la cartouche et à retirer l'étui vide.

Le coin C (vue 3) en acier forme le fond de la boîte de culasse ; et sa face antérieure présente une surface hélicoïdale de même pas que celle du barillet. Cette disposition permet d'obtenir la ferme-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ture complète, grâce à l'avancement qu'éprouve le barillet quand on le fait tourner.

Le *poussoir* P sert à maintenir le barillet dans une position fixe pendant la fermeture et l'ouverture. C'est un bouton logé dans le barillet, et poussé de l'extérieur vers l'intérieur par un ressort à boudin. Il vient appuyer sur les méplats de l'axe A. Pendant la fermeture, le poussoir agit sur l'un des méplats, et maintient le barillet; quand la culasse est ouverte, il presse sur l'autre méplat et agit d'une façon analogue.

Pour assurer encore la fermeture, le chien, en frappant sur le percuteur, s'engage dans une cavité pratiquée dans le barillet.

§ 521. **Mécanisme de percussion**. — Le percuteur est formé d'une tige en acier logée dans le barillet, et actionnée par un ressort à boudin, qui tend à pousser sa pointe vers l'intérieur. Le mouvement du percuteur est limité par une vis d'arrêt fixée au barillet, et dont la pointe vient se placer dans une entaille de la tige. Le logement du percuteur dans le barillet est disposé de façon que sa pointe corresponde non au centre, mais au bord de l'amorce.

La détente est installée comme celle des platines ordinaires ; il est inutile d'en décrire les détails, qui sont suffisamment indiqués sur la vue 7.

Le système de sûreté est disposé comme dans tous les appareils de ce genre. Pour mettre le chien au cran de sûreté, on appuie sur la détente en accompagnant le chien avec le pouce. Le bec de gâchette s'engage alors dans le cran de sûreté taillé en crochet, et on ne peut le dégager qu'en armant de nouveau.

§ 522. **Extracteur**. — L'extracteur E (vues 2 et 6) est formé d'un levier coudé à deux branches ; il tourne autour d'un axe encastré librement dans une rigole pratiquée sur la tranche antérieure de la boîte de culasse M, perpendiculairement à l'axe du canon et au-dessous. L'un des bras, logé dans une encoche *m* de la paroi, porte une entaille qui continue la feuillure. L'autre bras se meut dans une cavité *l* pratiquée sur le côté de la boîte, et il est muni d'un crochet qui vient s'appliquer dans une rainure du barillet.

§ 523. **Fonctionnement**. — Supposons le coup parti. On

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

arme en appuyant avec le pouce sur la crête du chien, que l'on met au cran de l'armé.

On ouvre le tonnerre en agissant avec le pouce de la main droite sur la crête du barillet, qui se met à tourner. L'extracteur glisse dans la rainure du barillet; et quand il est parvenu au bout, son crochet éprouve une butée qui le fait pivoter autour de l'axe; l'étui vide se trouve ainsi décollé. A l'extrémité de sa course, le barillet est maintenu par le poussoir agissant sur un des méplats de l'axe. On met alors une nouvelle cartouche dans le canon, et l'on ferme le tonnerre en agissant sur le barillet. Le mouvement hélicoïdal que prend cette pièce complète la fermeture, qui est assurée par l'action du poussoir agissant sur le second méplat.

Pour faire partir le coup, on presse sur la détente. Le chien pousse le percuteur en avant; et sa tête, venant se loger dans l'entaille correspondante du barillet, assure encore la fermeture.

§ 524. **Cartouche**. — L'étui est en laiton, à bourrelet plein. Le lubrificateur est formé d'une rondelle de cire entre deux feuilles de carton. La balle, en plomb durci contenant 8 p. 100 d'étain, pèse 24^{gr}. La charge est de 5^{gr}, dont 3^{gr} de poudre comprimée, et 2^{gr} de poudre libre dans l'étui.

La vitesse initiale est de 440^{m}.

L'approvisionnement de l'infanterie en campagne comprend :

Cartouches portées par l'homme	70
— dans les voitures de bataillon	52
— dans les voitures des sections de munitions	25
— au parc de réserve	22
Total	169

§ 525. **Renseignements généraux.**

Flèche de la trajectoire de	1.000^{m}	16^{m},33
	600^{m}	4^{m},64
	300^{m}	0^{m},92
Zone dangereuse pour un fantassin à	1.000^{m}	17^{m}
	600^{m}	46^{m}
	300^{m}	145^{m}
Vitesse initiale		450^{m}
Poids de l'arme		4^{kg},580
Poids de la balle		24^{gr}
Poids de la charge		5^{gr}
Poids de la cartouche		42^{gr},5

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 526. **Appréciation de l'arme.** — Le fusil Werndl a beaucoup de précision, et son mécanisme est une ingénieuse transformation des armes se chargeant par la bouche. Mais le chien n'est pas enrayé par l'ouverture du tonnerre. Le barillet est alors placé de telle façon que le percuteur se trouve en dessous ; il ne peut donc pas en résulter d'accidents, mais il y a à craindre des dégradations dans le barillet ou le chien.

L'extracteur agissant sur une portion restreinte du culot peut opérer d'une façon incomplète.

PISTOLET-REVOLVER (M^le 1873 M)

§ 527. — Le revolver est une arme à six coups, permettant soit le *tir intermittent*, dans lequel on arme à nouveau après le départ de chaque coup, soit le *tir continu*, où l'on arme et l'on fait partir le coup en agissant seulement sur la détente.

Nous allons décrire le Modèle 1873 M, qui est adopté par la Marine.

Le poids de ce revolver est de $1^{kg},200$; la longueur totale parallèlement à l'axe du canon est de $0^{m},242$. Toutes les pièces qui le composent sont en acier, sauf l'anneau de calotte qui est en fer, et les plaquettes qui sont en bois de noyer.

La planche XXII, figure 3, donne la disposition de cette arme.

§ 528. **Canon.** — Le canon O (vue 1) est composé d'une partie rayée et d'une chambre légèrement tronconique destinée à faciliter l'arrivée des balles dans le canon. Le calibre est de 11^{mm}. Les rayures hélicoïdales sont au nombre de 4 ; elles ont un pas de $0^{m},35$, et tournent de gauche à droite ; à l'extérieur, la partie centrale du canon est à 8 pans. A son extrémité avant, le canon porte le guidon ; à l'arrière, il est muni d'une partie filetée qui se visse dans la douille de la carcasse, et déborde en tronc de cône dans la cage du barillet.

§ 529. **Carcasse.** — La *carcasse* M est destinée à assembler les diverses pièces de l'arme. La partie avant, qui forme la *console*, porte une douille dans laquelle se visse le canon, et elle est percée d'un trou pour recevoir l'axe du barillet. A l'arrière, se trouve le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rempart qui sert d'appui aux culots des cartouches; un trou conique livre passage au percuteur. Le rempart et la console sont réunis à leur partie supérieure par la *bande b*, sur laquelle est le cran de mire.

§ 530. **Barillet**. — Le *barillet* B (vues 1 et 3) est l'organe de distribution des cartouches. C'est un cylindre pouvant tourner autour d'un axe parallèle à celui du canon, et percé de six chambres distribuées d'une façon égale autour de l'axe et destinées à recevoir les cartouches. A la partie arrière de chaque chambre est ménagée une feuillure pour loger le bourrelet de la cartouche; la face avant du barillet porte une bouterolle *n;* la face arrière une crémaillère *q*, à 6 dents, qui sert à lui communiquer le mouvement de rotation. Sur le renfort de l'arrière sont pratiquées six échancrures, pour recevoir la came de détente qui immobilise le barillet au moment du tir.

§ 531. **Platine**. — La *platine* (vues 1 et 6) se compose de 3 parties : le *chien* A, la *gâchette* G et la *détente* D. La tête *a* du chien porte le percuteur *p*, destiné à provoquer, par le choc, l'explosion de l'amorce. Le mouvement lui est communiqué par le *grand ressort* L, relié à la noix du chien au moyen d'une petite pièce intermédiaire qu'on appelle la *chaînette* Z. A la partie inférieure de la noix sont 2 crans, l'un de bandé *f*, l'autre de sûreté S, dans lesquels peut s'engager la *gâchette*. Cette pièce est poussée par ressort *r* qui l'appuie contre la noix du chien.

La détente D (vues 1 et 2) est pressée par un ressort R qui agit sur le talon. Elle porte une came Q, qui, s'engageant dans les échancrures du barillet, immobilise ce dernier. Elle est munie aussi d'un talon de départ *d*, qui agit sur le bec de gâchette. A la détente sont articulées deux pièces, la *barrette g* et le *mentonnet m*. La première est destinée à agir par son bec contre les dents de la crémaillère pour déterminer le mouvement de rotation du barillet. Le mentonnet relie le chien à la détente.

Sur la détente, on remarque encore la charnière T, munie d'un talon, dont le but est d'agir sur un talon correspondant du mentonnet pour le dégager du chien dans le tir continu, comme nous le verrons plus loin.

§ 532. **Fonctionnement**. — 1° Tir intermittent. Exami-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nons d'abord comment l'arme fonctionne pour le tir intermittent. Supposons le chien abattu. Si l'on exécute avec le pouce une pression sur la crête du chien, celui-ci, tournant autour de son axe, bande le grand ressort par l'intermédiaire de la chaînette; les crans de sûreté et de bandé viennent successivement se mettre en prise avec la gâchette, qui est appliquée par son ressort le long de la noix.

Dans le mouvement de rotation du chien, le mentonnet, qui est en prise avec lui, se trouve soulevé; et il entraîne la barrette et la détente. Le bec de la barrette, agissant sur une dent de la crémaillère, fait tourner le barillet de gauche à droite, de façon à amener une chambre à cartouche en face du canon. A ce moment, la came de détente fait saillie, et vient buter contre le bord de droite de l'échancrure du barilllet, dont elle limite ainsi le mouvement de gauche à droite. Le bec de barrette, qui bute contre une dent de la crémaillère, empêche toute rotation du barillet en sens inverse. La position de la chambre du barillet est donc bien assurée en face du canon, et l'arme est disposée à faire feu. Pour faire partir le coup, il suffit de presser avec le doigt sur la détente très légèrement, et, par suite, sans crainte de déranger le pointé; son talon soulève alors le bec de gâchette. Celle-ci se dégage du cran du bandé; et le chien, qui n'est plus retenu, obéissant au grand ressort, tombe brusquement; le percuteur vient frapper l'amorce.

Quand, après le départ du coup, on cesse de presser sur la détente, elle est ramenée par son ressort à sa position primitive, et elle entraîne le mentonnet et la barrette. Le mentonnet vient de nouveau appuyer sur le cran de la noix; la barrette glisse sur la portion oblique de la dent suivante de la crémaillère, et se place sous la face de cette dent normale à l'axe du barillet. Celui-ci ne peut du reste tourner en sens inverse, sa position étant fixée par la butée de la pointe du percuteur contre l'anneau de la cartouche que l'on vient de tirer, ou contre le rebord de la chambre.

2° Tir continu. — Ici on ne commence pas par agir sur le chien. Le mécanisme étant à l'abattu, si avec l'index de la main droite on presse sur la détente, on soulève la barrette et le mentonnet. Le bec de la barrette fait tourner le barillet, comme dans le tir intermittent, jusqu'à ce que le bord de droite de l'échancrure inférieure vienne buter contre la came de détente.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Une chambre du barillet se trouve alors en face du canon dans une position assurée.

L'épaulement du mentonnet, que la pression du ressort de barrette maintient engagé sous le cran correspondant de la noix du chien, exerçant une pression de bas en haut, oblige le chien à tourner autour de son axe. Ce mouvement continue jusqu'à ce que le talon du mentonnet soit rencontré par le talon de la charnière de détente. A ce moment, le frottement du corps du mentonnet contre le ventre de la noix a déjà eu pour effet de dégager en partie l'épaulement du mentonnet d'avec le cran correspondant.

Le talon de la détente, en appuyant contre celui du mentonnet, soulève cette dernière pièce, et achève de la détacher complètement de la noix. Le chien n'étant plus retenu, obéit au grand ressort, et tombe en frappant l'amorce. Mais l'effort à exercer sur la détente est bien plus notable ici que dans le tir intermittent ; et la justesse de la visée s'en ressent.

Au moment où le talon de la détente rencontre celui du mentonnet, le chien est un peu moins soulevé que quand on arme en pressant sur la crête. L'échappement du mentonnet et le départ du chien ont lieu, dans ce cas, avant que la gâchette ait pu s'engager dans le cran de bandé ; mais la différence est faible, et la course du chien est suffisante pour le choc.

Dès qu'on a cessé d'agir sur la détente, elle est ramenée en avant par son ressort ; la barrette et le mentonnet viennent alors reprendre leur place.

§ 533. **Observations relatives au tir du revolver.** — Pour les deux genres de tir, il est essentiel, après chaque coup, de laisser la détente revenir librement. Dans le tir intermittent, si l'on appuie le doigt sur la détente avant que le chien soit armé, il peut arriver :

1° Que le barillet n'ayant pas tourné, le chien retombe sur une cartouche déjà partie ;

2° Que le cran de bandé du chien n'étant pas arrêté par le cran de gâchette, le départ vienne surprendre le tireur avant que l'arme soit bien assurée dans sa main.

Dans le tir continu, si l'on n'ouvre pas suffisamment le doigt pour que la détente revienne à sa position initiale, on s'expose aux inconvénients suivants :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1° La détente peut se mettre seule en mouvement, sans entraîner ni le chien ni le barillet, si la barrette et le mentonnet ne sont pas suffisamment descendus pour agir sur ces deux pièces;

2° Le barillet peut être seul entraîné, si la barrette est venue seule se placer sous la dent suivante de la crémaillère; la pointe du percuteur peut alors dégrader les cloisons.

En tous cas, le tir intermittent permet seul de bien viser, et s'impose pour les objets à distance. Le tir continu, au contraire, est nécessaire à bout portant.

§ 534. **Cartouche.** — La cartouche du revolver est métallique; elle se compose d'un étui verni intérieurement, contenant une charge de $0^{gr},80$ de poudre de chasse superfine étuvée, et d'une balle ogivo-cylindrique en plomb, pesant $12^{gr},8$, coulée d'abord, puis comprimée à la presse.

L'amorce est fournie par la maison Gaupillat qui en a la propriété. L'étui (vue 8) présente au centre un épaulement sur lequel appuie le godet *a a* nommé *alvéole porte-capsule*. L'alvéole contient une capsule et un couvre-amorce. Le papier qui recouvre le fulminate est en contact avec la pointe d'une enclume en fer de lance qui ne fait pas corps avec le godet.

La balle est fortement sertie au tube, condition de sécurité indispensable. Les balles sont graissées; on les plonge dans un mélange de 4 de suif pour 1 de cire jaune.

La balle du revolver peut être meurtrière jusqu'à 200^{m}; mais cette arme ne doit servir que pour la défense de près; il ne faut employer le tir continu que dans le cas de force majeure, et à moins de 15 mètres.

CONSIDÉRATIONS SUR LES PROGRÈS ET L'USAGE DES ARMES PORTATIVES

§ 535. **La répétition. Fusil Lebel et fusil Mänlicher.** — Le problème du fusil à répétition est à l'ordre du jour dans tous les pays; et l'on semble reconnaître qu'il y a utilité à pouvoir faire à l'occasion un feu précipité.

Ce genre de feu offre d'ailleurs l'avantage de procurer des tirs nourris contre l'artillerie, sans qu'il soit nécessaire d'augmenter

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le nombre de fusils mis en ligne, c'est-à-dire de placer les troupes à rangs serrés. Il est clair que si l'on possède une arme tirant deux fois plus vite que d'habitude, il faudra mettre en ligne deux fois moins de monde.

La vitesse du tir, obtenue en 1866 pour les fusils prussiens à l'aide du chargement par la culasse, a déterminé la victoire de Sadowa ; et en 1870-1871, cette même condition, réalisée d'une semblable manière pour les canons allemands, a fait l'empire d'Allemagne.

La transformation complète de tout un armement étant fort dispendieuse, on a songé à modifier seulement les armes actuelles, de manière à en faire des fusils à magasin. Mais cette modification est presque aussi coûteuse que la création de fusils nouveaux. On a proposé alors un *chargeur*, magasin mobile contenant des cartouches, qui, durant le tir, viennent d'elles-mêmes se placer dans l'échancrure. Les partisans de cet appareil s'appuient sur la facilité qu'on a de surveiller la consommation des munitions en faisant placer le magasin au commandement. En revanche, le système présente un poids mort assez grand ; sa mise en place est plus ou moins longue ; puis il forme une saillie incommode. Il n'a donc sa raison d'être que pour l'amélioration d'un matériel déjà existant. La question n'a pas encore été résolue.

Quoi qu'il en soit, les fusils à répétition exposent à une consommation considérable de cartouches en disproportion avec les résultats obtenus. On a bien cherché à éviter le gaspillage, en munissant les magasins d'un interrupteur ; mais rien n'est difficile comme de déterminer le moment psychologique où l'on doit employer ou cesser la répétition. Au surplus, le fusil à répétition exige, de la part des soldats, un déploiement de force plus considérable.

Il est du reste prouvé qu'avec des exercices suffisants, un bon soldat peut tirer, dans un temps donné, presque le même nombre de cartouches avec un fusil ordinaire qu'avec un fusil à répétition, pourvu que le tireur soit muni d'une cartouchière ouverte placée sur la poitrine et à bonne portée de la main droite. Malheureusement il y a à tenir compte de l'effet moral résultant de la prétendue supériorité dont jouit dans les masses le système à répétition. Les fanatiques de la répétition prétendent d'ailleurs que ses avantages priment même, et de beaucoup, les avantages des trajectoires tendues, et qu'on doit sacrifier ceux-ci aux pre-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

miers, quand, pour une raison ou une autre, ils ne peuvent se réaliser ensemble sur la même arme. Ces mêmes officiers déclarent en outre que le magasin fixe est insuffisant pour la vraie répétition. Selon eux, il faut un *chargeur mobile*, qui, aussitôt épuisé, est remplacé par un autre garni d'avance, comme dans le *Lee* américain, où du reste les cartouches sont placées perpendiculairement aux deux côtés du magasin, les unes au-dessous des autres.

En ce moment on fabrique chez nous pour quelques corps spéciaux deux fusils appelés Gras-Kropatschek (à magasin), et Gras-Lee (à chargeur sur le côté). Ces fusils auront respectivement 9^{mm} et $9^{mm},5$ de calibre.

Les considérations invoquées en faveur du tir à répétition ont fait naître une autre solution du problème ; et la nécessité d'agir à courte distance dans un moment décisif, comme un assaut, avec des tireurs médiocres, a inspiré l'idée des cartouches à balles multiples. M. Delauney, officier d'artillerie de marine, a proposé une cartouche à trois balles évidées à l'intérieur ; elles ont ensemble le même poids que la balle ordinaire ; la première est ogivale, les deux autres cylindriques. Pour les petites distances, on réaliserait ainsi un véritable tir à mitraille. La difficulté d'épauler dans le tir rapide et l'émotion d'un combat rapproché peuvent occasionner avec les armes à répétition la consommation inutile de cartouches sus-mentionnée ; car si l'arme est mal pointée, toutes les balles sont lancées en pure perte à cause de la tension même de la trajectoire. Si, au contraire, chaque charge se divise de manière à former une gerbe comme le propose M. Delauney, les chances se trouvent augmentées. Les expériences ont donné de bons résultats ; mais la question n'est pas résolue ; et l'on hésite devant l'inconvénient qu'il y a à admettre dans les approvisionnements deux sortes de cartouches, en raison des erreurs inévitables de distribution.

En tout état de cause le feu rapide et le tir à grande portée étant généralement regardés aujourd'hui comme nécessaires, on a proposé, pour réduire autant que possible le poids des munitions, de diminuer le calibre et d'augmenter la vitesse. On peut arriver à une vitesse de 500^{m} avec un recul supportable. Ce sont les Suisses qui ont donné l'exemple. Ils ont à l'étude deux fusils, l'un de 7^{mm}, l'autre de 9^{mm}, qui jusqu'à présent ont fourni de bons résultats aux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

expériences. Le calibre de 7^{mm} a l'inconvénient d'exiger une grande vitesse initiale, et alors le plomb ne se moule plus dans les rayures. On est donc obligé d'envelopper la balle d'une mince chemise de cuivre, comme l'a proposé le capitaine suisse Rubin, ce métal résistant mieux que le plomb à l'effort de cisaillement. Cette solution paraît peu admissible, car elle augmente beaucoup le prix de revient. Il y a donc une limite à la réduction du calibre. Mais on voit que la diminution de poids de la cartouche peut être obtenue de cette façon, ce qui permet d'augmenter la quantité des munitions disponibles. Toutefois, suivant quelques officiers, le fusil à trajectoire tendue ne serait dangereux que de loin ; car les hommes tirent toujours trop haut. Au contraire, avec les armes à trajectoire moins tendue, le tir est généralement trop bas ; et alors on se rattrape par les ricochets. Mais ce sont là des objections secondaires, qui indiquent seulement la nécessité d'exercices plus sévères avec les nouveaux fusils.

L'arme qui semble en ce moment avoir réalisé le mieux toutes les conditions désirables est le *fusil de* 8^{mm}, M^{le} 1886, dit aussi *fusil Lebel*. Jusqu'à nouvel ordre, il est réservé comme arme *secrète*. Nous nous bornerons donc à indiquer à son sujet les données générales qui sont dans le domaine public.

Le mécanisme proprement dit se rapproche beaucoup de celui du fusil Gras, mais avec changement de disposition de la tête mobile et de l'extracteur, de manière à remédier à la dissymétrie due au verrou. L'éjecteur diffère aussi : il rejette par côté. Le système de hausse a été également perfectionné. Le magasin à munitions, du genre Kropatschek, est habilement dissimulé dans le fût ; et son organe de distribution a été amélioré. D'autre part, l'extrémité du canon peut recevoir une petite épée-baïonnette quadrangulaire très effilée, avec poignée en melchior et emmanchement spécial sur le canon.

La supériorité de cette arme repose sur son faible calibre (8^{mm} au lieu de 11^{mm}), et sur l'espèce de poudre employée (§ 48). Voici les avantages qui en résultent :

1° Réduction notable du poids de l'arme.

2° Diminution des dimensions des cartouches, qui ne sont pas plus grosses qu'un bout de crayon, et dont la balle en plomb comprimé dans une enveloppe de métal blanc ne pèse que 15^{gr} ; cela permet incidemment de donner au magasin un volume très res-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

treint pour un chargement de 10 cartouches, dont une dans l'auget et une dans l'âme.

3° Une vitesse initiale de 600^{m}, au lieu de 455^{m} que fournit le fusil Gras : augmentation due à la légèreté de la balle et à la qualité de la nouvelle poudre. Grâce à cette circonstance ainsi qu'à la diminution de la résistance de l'air due à la petite section de la balle, on obtient une trajectoire très tendue, et sensiblement rectiligne jusqu'à 600^{m}, au lieu de 350^{m}. Par suite, on rend inutile la hausse mobile que les soldats ne mettent presque jamais au bon point ; en d'autres termes on peut viser jusqu'à 600^{m} avec la hausse fixe. Ce même fait donne lieu à des zones dangereuses d'une énorme étendue, à savoir : à 1000^{m} de 51^{m} pour les cavaliers, et de 33^{m} pour les fantassins, au lieu de 29^{m} et 18^{m} avec le fusil Gras. Il résulte encore de là que l'on peut obtenir à 2.400^{m} la même justesse qu'avec les autres fusils à 1.800^{m}, ce qui permet à l'infanterie de se défendre contre l'artillerie.

4° Très peu de recul, d'encrassement, de bruit et de fumée.

5° Augmentation de la portée et de la pénétration, ainsi que de la justesse, à cause du peu de déviation. A 200^{m}, des plaques de chêne de 0^{m},40 sont traversées avec facilité.

A propos de l'absence du bruit, les uns prétendent qu'il résultera de là un effet démoralisateur sur l'ennemi, qui se sentira frappé mystérieusement. D'autres affirment, au contraire, qu'un pareil effet est bien plus considérable avec le sifflement des balles et leurs bruits stridents dans les ricochets. L'expérience seule décidera.

En tous cas, on est arrivé à manufacturer toutes les pièces avec une telle précision que les parties de même espèce du mécanisme sont *interchangeables* de fusil à fusil.

Le chargement des dix cartouches ne demande pas plus de 35 secondes ; et leur tir peut s'effectuer dans de bonnes conditions en une minute.

Au point de vue extérieur, le fusil Lebel est élégant. La baïonnette est redoutable ; elle est adhérente au fusil d'une façon plus solide que l'ancienne.

Comme on le voit, ce fusil est une arme de premier ordre sous tous les rapports. Aussi cette précieuse invention a-t-elle excité au plus haut degré la curiosité et l'inquiétude de toutes les grandes nations militaires, qui abandonnent leurs armes actuelles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et ne reculent devant aucune recherche ni aucune dépense pour se rapprocher de notre fusil Lebel.

En dehors des difficultés que présente la construction même du fusil à faible calibre, il est une question qui joue un rôle capital, et que les gouvernements étrangers ont essayé de résoudre, c'est la fabrication de la poudre destinée à cette arme. Les Prussiens ont cru un moment avoir trouvé la solution. Le colonel Schultz avait présenté une poudre qui donnait aux expériences des résultats très satisfaisants. Pour l'obtenir, on mélangeait du salpêtre avec du bois débarrassé de son ligneux et de ses matières colorantes par l'action des alcalins et du chlore, et qui était ensuite imprégné d'acide azotique; le bois, dans ces conditions, absorbait cet acide comme le fait le coton dans le coton-poudre. Cette nouvelle poudre produisait 95 p. 100 de gaz, tandis que l'ancienne poudre noire n'en donne que 30 p. 100. La force d'impulsion était, comme on le voit, à peu près triplée; et la fumée était presque invisible, à cause du peu de matières solides résultant de la déflagration. Mais le nouveau produit ne réalisait pas toutes les conditions désirables; il perdait ses qualités après un mois d'emmagasinage, et au bout d'un an il devenait dangereux à manier.

Pour ne pas paraitre rester en retard vis-à-vis de la France, la Prusse modifia alors son fusil Mauser (§ 466), auquel elle ajouta un magasin, sans changer sensiblement les détails de construction ni les propriétés balistiques de l'arme. Du reste, il faut remarquer qu'aucune pièce de l'ancien fusil ne pouvait être utilisée, et que l'ancienne cartouche ne s'y adaptait pas. On fut alors obligé de confectionner un fusil entièrement neuf. Mais l'arme est lourde et mal équilibrée. D'autre part, les cartouches du tube-magasin placées bout à bout peuvent s'enflammer dans de certains cas. L'état-major allemand a bientôt reconnu l'insuffisance de ce fusil; et un rapport général, fait au sujet de la nouvelle arme, n'hésite pas à reconnaitre que :

« L'adoption du fusil à répétition n'est qu'un progrès d'ordre secondaire qui a les caractères d'une mesure transitoire; c'est un acheminement vers le fusil à petit calibre qui s'impose, et dont l'étude n'est qu'une question de temps. »

Cette étude a été terminée récemment; et le nouveau modèle adopté est activement fabriqué.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'Autriche a fait également de nombreuses recherches pour résoudre le problème de l'arme à faible calibre et à répétition. La poudrerie de Stein fabrique une poudre formée des mêmes éléments que l'ancienne, mais perfectionnée. Avec le fusil Kropatschek de 8^{mm} amélioré dans tous ses détails par Mänlicher, cette poudre donne une vitesse de 580^{m} à une balle de plomb durci recouverte d'une enveloppe de nickel. D'ailleurs, le magasin fixe a été remplacé par un chargeur renouvelable ; ceci lui permet de tirer deux fois plus vite que le fusil Lebel, dans un tir un peu prolongé ; mais il en résulte les inconvénients dus au poids mort des chargeurs. En tout cas, les chargeurs du Mänlicher renferment les cartouches étagées obliquement par rapport aux côtés du magasin, et cela en forme d'escalier, afin de restreindre la hauteur du système. La construction du nouveau fusil autrichien est très avancée.

Cette rapide revue nous montre dans quel sens sont dirigées les études pour le perfectionnement du fusil. Comme on le voit, les autres nations cherchent à imiter notre exemple. Mais jusqu'à présent la France et l'Autriche possèdent seules le fusil à petit calibre et à répétition, qui semble devoir être l'arme de l'avenir.

§ 536. **Renseignements sur le tir de l'infanterie.** — L'infanterie, qui sait le mieux tirer parti de l'arme mise entre ses mains, possède un des éléments essentiels du succès. Les exemples empruntés à l'histoire militaire montrent l'efficacité terrifiante ou ridiculement minime que produisent les feux des fantassins sur le champ de bataille, selon que ceux-ci ont plus ou moins d'habileté et de sang-froid. De là la nécessité de donner à chaque homme le degré d'instruction et d'adresse le plus élevé et le plus complet possible.

Cependant on ne constate, dans les guerres les plus récentes, qu'un accroissement relativement peu considérable dans l'efficacité du feu de l'infanterie, par rapport aux résultats qu'on obtenait à l'époque du mousquet à âme lisse. Cela tient à ce que les buts sont sans cesse allés en diminuant, et n'ont plus été visibles que pendant un temps fort restreint. Les canons de terre portant aujourd'hui à 3.000^{m} et les fusils à 1.500^{m}, les troupes en présence ne visent presque plus pendant une partie du combat.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les guerres qui ont eu lieu depuis 1864 jusqu'à 1871, on a constaté les effets suivants :

1,5 0/0 de touchés, fusil à aiguille allemand, campagnes de 1864 contre le Danemarck, et de 1866 contre l'Autriche ;

0,7 0/0 de touchés, fusil à aiguille allemand, guerre franco-allemande de 1870-1871.

La médiocrité de ce dernier chiffre est due à ce que le fusil à aiguille étant inférieur à notre chassepot, les Allemands étaient obligés de tirer de très loin.

Par ailleurs, il est intéressant de remarquer qu'en moyenne, dans les guerres sus-relatées, l'effet de l'infanterie a été de 28 à 32 fois supérieur à celui de l'artillerie.

Dans toutes les armées, on donne aujourd'hui à chaque soldat une instruction progressive en vue d'en faire un excellent tireur. De plus, on lui apprend à triompher des difficultés qui se produisent dans les feux nourris effectués par des groupes plus ou moins considérables, en rangs serrés ou en ordre dispersé.

Chez nous, de tels exercices sont d'autant plus importants que nos soldats sont portés à tirer sur l'ennemi avec une précipitation fiévreuse. Nos tireurs doivent être soumis à une instruction assez longue pour qu'ils arrivent à tirer juste instinctivement. On peut obtenir, sous ce rapport, des résultats extraordinaires, en faisant longtemps pratiquer une arme et sa cartouche par chaque homme.

Les exercices de tir sur des buts mobiles à éclipse prompte constituent un excellent moyen pour habituer les soldats à charger et à ajuster très rapidement.

Il importe aussi d'instruire scrupuleusement sur l'emploi de la hausse. Faute d'avoir été familiarisées avec cet emploi, des troupes ont, dans les dernières guerres, tiré sur l'ennemi sans aucunement l'atteindre, même à petite portée : toutes les balles passaient au-dessus de lui. Mais pour régler la hausse mobile, aussi bien que pour obtenir le meilleur parti des fusils à trajectoire tendue dans leur tir lointain à l'aide de la hausse fixe, il faut savoir *apprécier les distances*, en bien se rappelant que l'inefficacité des feux est le plus souvent due à l'estimation trop longue des distances.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour les officiers, on a proposé différents genres de télémètres, dont nous parlerons ci-après. Mais aussi bien pour les chefs que pour les soldats, le moyen le plus simple en face de l'ennemi, c'est d'apprécier les distances à la vue ; cette appréciation est aussi nécessaire que l'adresse pour constituer le véritable tireur.

La méthode la plus usuelle consiste à habituer le fantassin à bien se graver dans la mémoire les distances auxquelles il lui est encore possible de voir certaines parties du corps, de l'équipement et de l'armement des soldats placés en face de lui. On indique alors à quelles distances, suivant la trajectoire plus ou moins tendue du fusil, la hauteur du guidon au-dessus de son embase couvre la demi-hauteur ou la hauteur totale d'un soldat. Ces distances sont environ 200^{m} et 400^{m} pour les armes encore en usage actuellement ; mais elles deviendront beaucoup plus grandes avec les nouveaux fusils à trajectoire tendue. Il faut, au surplus, faire faire aussi aux hommes des exercices de l'espèce dans la position du tireur à genou ou couché.

Toutefois la méthode qui nous occupe est défectueuse à bien des égards. D'abord elle suppose que l'ennemi sera visible longtemps et de la tête aux pieds. En second lieu, l'œil même le plus exercé est sujet à des illusions d'optique, provenant tantôt des influences météorologiques sur la transparence et la réfraction de l'air, tantôt de la configuration du terrain, etc. En tous cas, il convient d'inculquer au fantassin l'aspect que présentent de grands corps de troupe à divers éloignements.

Autrefois, on pouvait, pour des distances relativement restreintes, reconnaître la position de l'adversaire par la lueur des coups de feu, et l'intensité de la fumée produite par la poudre.

Il y a une troisième méthode assez bonne, c'est l'évaluation des distances par la vue sur le *sol même*, tant droit devant soi qu'obliquement ; ceci exige des exercices *ad hoc* très nombreux, à l'aide desquels les soldats sont amenés à se graver dans la mémoire des distances déterminées de 50^{m}, 100^{m}, 200^{m}, etc., dans différentes directions autour d'eux. Il convient d'exercer spécialement des hommes bien doués pour la chose en question. Les braconniers, les cantonniers ainsi que les topographes, offrent en général, à cet effet, des dispositions notables. On ne saurait trop recommander de procurer à chaque compagnie un tel sujet, pour l'adjoindre au capitaine.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il faut toujours, autant que possible, associer cette dernière méthode à la première.

Il reste enfin le moyen d'évaluer les distances à l'aide du *son*, en se basant sur sa vitesse à raison de 340^{m} par seconde, et sur le temps qui s'écoule entre l'éclair et le bruit des coups de canon ou de fusil. Pour mesurer la seconde et les cinquièmes de seconde, il suffit de compter rapidement jusqu'à cinq. Chaque nombre correspond alors à un cinquième de 340^{m}, soit à 70^{m} environ.

Malheureusement, il a été constaté récemment que la vitesse de détonation des armes à feu actuelles était souvent très supérieure (1) à la valeur admise jusqu'ici de 340^{m}. Cela tient à ce que les vitesses initiales des projectiles sont aujourd'hui supérieures à la vitesse du son. En pareil cas, c'est la balle elle-même qui devient le centre de la vibration sonore perçue en premier lieu par l'oreille, et qui produit pendant son trajet un son continu analogue à la détonation de la poudre. De la sorte la vitesse *apparente* du son peut alors dépasser 400^{m} ; et elle est d'autant plus élevée que la vitesse initiale du projectile est plus grande, et la portée plus restreinte.

En tous cas, les officiers doivent, pour l'estimation des distances, se servir au moins d'une bonne jumelle, et, autant que possible, de cartes et de télémètres.

Les télémètres anciens, connus sous le nom de *stadia*, ont pour principe d'évaluer l'angle sous lequel on aperçoit un corps quelconque de dimensions connues, comme la hauteur d'un homme, situé à la distance cherchée.

Dans ce genre, il existe depuis peu dans l'armée autrichienne un télémètre à grande base, dit ***Bussismer***. Mais l'inconvénient est ici, comme dans les stadia, que le bon emploi de l'instrument dépend de la connaissance de la base visée, telle que la largeur d'une route, la distance entre deux poteaux télégraphiques, l'étendue d'une section d'infanterie, etc.

Viennent ensuite les télémètres optiques ou à miroirs ; on y voit se déplacer plus ou moins vite, en marchant avec l'instrument, des objets lointains par rapport à des objets très rapprochés, ce qui permet de conclure, plus ou moins exactement, les distances qui les séparent. Les appareils de ce genre les plus

(1) Voir un article de M. Journé dans les comptes-rendus de l'Académie des sciences, 1er semestre 1888, page 244.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

recommandés sont : le télémètre autrichien Roksandie, dit télémètre-monocle, et le télémètre français Lubbez avec ou sans lunette.

Il existe enfin des télémètres acoustiques des types Le Boulengé (belge) et Redier (français). Ce sont de simples tubes, transparents et pleins de liquide, renfermant un système de disques qui coule dès que le tube est tenu verticalement. La loi de chute de ce système permet d'évaluer le temps qui s'écoule entre l'éclair et la détonation des armes à feu à divers éloignements. Les divisions de l'instrument donnent de suite les distances, calculées d'après la vitesse du son supposée de 340^{m}. Mais nous avons vu plus haut qu'on ne pouvait plus se fier à ce chiffre avec les projectiles actuels à grande vitesse initiale ; les appareils qui nous occupent perdent de ce chef leur valeur.

En résumé, on n'a pas encore trouvé de télémètre satisfaisant à toutes les exigences qu'on est en droit de formuler en vue de la guerre. Il sera donc nécessaire, devant l'ennemi, que chaque officier se serve à la fois de tous les procédés indiqués ci-dessus, de façon à obtenir des appréciations moyennes acceptables.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SIXIÈME PARTIE

ÉLECTRICITÉ EN MARINE

6E PIE. — CHAPITRE I

LOIS GÉNÉRALES ET UNITÉS

§ 537. **Introduction**. — L'*électricité*, on le sait, consiste dans l'ensemble de deux classes de phénomènes. Les premiers se traduisent par des attractions et répulsions de corps légers, par des décharges avec étincelle de divers appareils, etc. ; et ils constituent l'*électricité statique*. Les seconds, qui appartiennent à l'*électrodynamique*, se manifestent surtout par des actions *sui generis* qui se passent dans des fils métalliques, qu'on regarde alors comme parcourus par un *courant*. A cette classe on rattache d'ailleurs les faits dus au *magnétisme*.

Bien qu'on commence à connaître l'essence même desdits phénomènes (§ 560), il suffit, pour expliquer et calculer leurs effets, de les regarder comme dus à un fluide répandu en plus ou moins grande quantité dans les corps. Les diverses parties de ceux-ci sont alors soit à l'état neutre, soit électrisées positivement ou négativement, suivant que le fluide s'y trouve soit à un taux normal, soit à un taux au-dessus ou au-dessous de l'état neutre.

Depuis quelques années l'électricité a trouvé de nombreuses applications dans la marine. Elle sert aujourd'hui à l'éclairage extérieur et intérieur des navires, à la production des signaux, à l'inflammation des torpilles et des canons, à la télégraphie et à la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

téléphonie. Nous nous bornerons à passer en revue ces différentes applications sans aborder l'étude complète de la science électrique, et en nous contentant de rappeler d'une façon sommaire les principales lois qui lui servent de base.

Les détails concernant la mise en feu des canons et l'inflammation des torpilles sont traités dans les PARTIES réservées à l'artillerie et aux torpilles.

§ 538. **Définitions**. — Un courant électrique, quelle que soit la cause qui lui donne naissance, est toujours caractérisé par les trois éléments suivants : 1° la cause qui le produit, appelée *force électromotrice* par interprétation fictive; 2° son *intensité*, c'est-à-dire la quantité d'électricité mise en jeu dans un temps donné ; 3° enfin la *résistance* opposée par le conducteur qu'il traverse.

La force électromotrice entre deux points d'un circuit est due à la différence des *potentiels* que possède chaque point : le potentiel en un point étant une donnée électrique représentée par $\Sigma \frac{q}{r}$, c'est-à-dire par la somme algébrique des rapports entre chaque masse d'électricité positive ou négative actionnant le point considéré et sa distance à ce point.

La *force électromotrice* d'un générateur d'électricité (pile ou machine) est égale à la différence de potentiel existant entre ses deux bornes en circuit ouvert.

L'*intensité* d'un courant est la quantité d'électricité qui s'écoule pendant l'unité de temps (la seconde). Si l'on appelle I l'intensité du courant, et Q la quantité d'électricité passant dans un temps t, on a la relation

$$Q = It.$$

§ 539. **Loi de Ohm**. — Le courant traversant un circuit éprouve une résistance variable avec la nature du conducteur. Ohm a établi la loi suivante :

Dans un circuit fermé, l'intensité du courant est proportionnelle à la force électromotrice et inversement proportionnelle à la résistance du circuit.

Soient, pour un générateur d'électricité, I l'intensité du courant, E la force électromotrice, et R la résistance totale, c'est-à-dire

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

y compris la partie afférente à l'intérieur du générateur ; on a la formule

$$I = \frac{E}{R}.$$

Si l'on ne considérait qu'une portion déterminée du conducteur, il faudrait regarder E comme la différence de potentiel existant, en circuit fermé, entre les points extrêmes de cette portion, et R comme la résistance de la partie du circuit comprise entre ces points.

Si le circuit comprend plusieurs portions ayant des résistances r, r', r'',

$$R = r + r' + r'' ;$$

et l'on peut poser

$$I = \frac{E}{r + r' + r''}.$$

Si, par exemple, r est la résistance du circuit extérieur, et r' celle du générateur d'électricité, il vient

$$I = \frac{E}{r + r'}.$$

§ 540. **Lois de Kirchhoff.** — L'intensité dans un circuit unique est la même pour tous les points du circuit, et elle est déterminée par la loi précédente. Mais quand on branche plusieurs dérivations sur le conducteur primitif, on fait varier la résistance totale, et, par suite, l'intensité du courant. Les deux lois suivantes ont été établies par Kirchhoff :

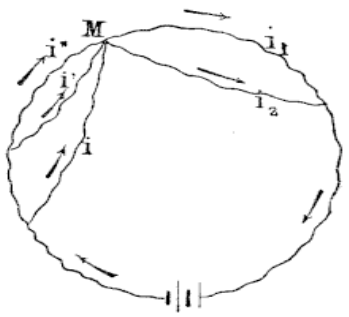


Fig. 75.

1° En un point de croisement de plusieurs conducteurs, faisant partie de réseaux traversés par des courants, la somme algébrique des intensités traversant ces conducteurs est nulle, pourvu qu'on convienne de regarder comme positifs les courants qui se dirigent vers le point M (fig. 75), et comme négatifs ceux qui s'en éloignent. On a donc

$$i + i' + i'' - i_1 - i_2 = 0.$$

2° Pour toute figure fermée d'un système de conducteurs, la somme algébrique des produits des intensités par les résistances,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est égale à la somme algébrique des forces électromotrices afférentes aux portions considérées des conducteurs.

On donne le signe + aux courants qui marchent dans un sens, et aux forces électromotrices correspondantes ; et le signe — aux courants et aux forces électromotrices de sens contraire.

On a donc

$$\sum IR - \sum I'R' = \sum E - \sum E'.$$

Par exemple, dans le circuit PMP'NP (fig. 76) qui fait partie d'un réseau complexe où entre MN, on a

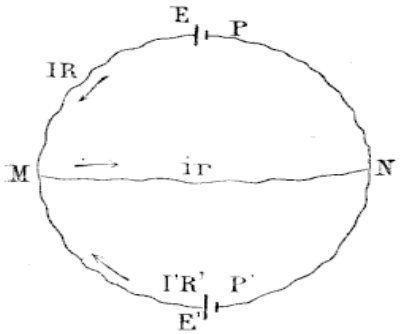


Fig. 76.

$$IR - I'R' = E - E';$$

et dans le circuit PMN,

$$IR + ir = E.$$

Si, dans le réseau de la fig. 76, on enlevait MN, on ne pourrait plus supposer qu'un seul courant I″, pour lequel on aurait alors

$$I''(R - R') = E - E'.$$

§ 541. **Circuits dérivés.** — Supposons qu'aux points M, N d'un circuit (fig. 77) on rattache des dérivations a, b, c, d..., ayant des résistances r, r', r'',... ; et traversées par des courants d'intensités i, i', i'',... Soient I et R l'intensité et la résistance dans la partie MPN, et E la force électromotrice du générateur P.

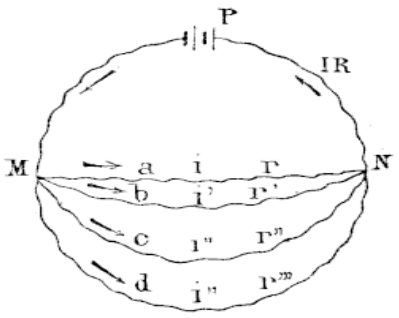


Fig. 77.

D'après la première loi de Kirchhoff, nous avons en M

$$(1) \qquad I - i - i' - i'' \ldots = 0.$$

D'après la seconde loi, on a dans chaque circuit PMaNP, PMbNP, PMcNP :

$$(2) \qquad \begin{cases} E = IR + ir, \\ E = IR + i'r', \\ \cdots\cdots\cdots \end{cases}$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Des équations (1) et (2) on tire

$$I = \frac{E - IR}{r} + \frac{E - IR}{r'} + \dots ;$$

d'où

$$I = \frac{E}{R + \dfrac{1}{\dfrac{1}{r} + \dfrac{1}{r'} + \dfrac{1}{r''} + \dots}}. \tag{3}$$

Si nous voulons remplacer l'ensemble des dérivations établies entre M et N par un conducteur unique présentant une résistance égale à leur résistance totale, sans changer l'intensité I du courant, la résistance ρ de ce conducteur sera donnée par

$$\rho = \frac{1}{\dfrac{1}{r} + \dfrac{1}{r'} + \dfrac{1}{r''} + \dots}.$$

c'est-à-dire que la résistance totale des dérivations est égale à l'inverse de la somme des inverses des résistances de chaque circuit.

S'il y a n dérivations présentant chacune une résistance r, il vient

$$\rho = \frac{1}{\dfrac{n}{r}} = \frac{r}{n}.$$

Supposons qu'il existe deux dérivations avec des résistances r et r' ; et proposons-nous de calculer l'intensité i et i' des courants circulant dans chacune d'elles. A cet effet, appliquons les lois de Kirchhoff, nous aurons :

$$I - i - i' = 0,$$
$$E = IR + ir,$$
$$E = IR + i'r' ;$$

on en déduit :

$$I = i + i', \tag{4}$$

$$\frac{i}{i'} = \frac{r'}{r} ; \tag{5}$$

En appliquant la formule (3), nous obtenons

$$I = \frac{E}{R + \dfrac{rr'}{r + r'}} ;$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'où

$$i + i' = \frac{E}{R + \frac{rr'}{r + r'}}. \quad (6)$$

On tire de (5) et (6) :

$$i = \frac{Er'}{R(r + r') + rr'},$$

$$i' = \frac{Er}{R(r + r') + rr'}.$$

Pour avoir le rapport entre l'intensité de chaque courant dérivé et l'intensité du courant principal, prenons les formules (4) et (5); elles donnent :

$$\frac{i + i'}{i'} = \frac{r + r'}{r}, \quad \text{puis} \quad \frac{i'}{I} = \frac{r}{r + r'}, \quad \text{et} \quad \frac{i}{I} = \frac{r'}{r + r'}.$$

§ 542. **Conductibilité. Résistance spécifique.** — La résistance R d'un conducteur cylindrique à 0° est, d'après les expériences de Pouillet, proportionnelle à la longueur l du conducteur, inversement proportionnelle à sa section s, et inversement proportionnelle à un coefficient c, dépendant de la nature du corps, et qu'on appelle sa *conductibilité*. On a donc la formule

$$R = \frac{l}{c\,s}.$$

Si l'on fait $l = 1$ et $s = 1$, la résistance ρ est donnée par

$$\rho = \frac{1}{c}.$$

C'est la résistance d'un corps pour l'unité de longueur et l'unité de section ; c'est ce qu'on appelle sa *résistance spécifique*. Comme l'unité de longueur admise est le centimètre, la résistance spécifique d'un corps est égale à celle que présente entre ses faces opposées un centimètre cube de cette substance.

La résistance spécifique varie beaucoup avec la nature des corps. Très élevée dans les substances non métalliques, elle est bien plus faible dans les métaux ; elle dépend également de leur état de pureté et de leur température. La résistance d'un alliage est bien supérieure à celle des métaux qui entrent dans sa composition. Aussi, pour les conducteurs électriques, recherche-t-on toujours les métaux les plus purs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La résistance spécifique d'un métal est plus grande quand il est écroui que lorsqu'il est recuit.

L'élévation de température augmente la résistance des métaux. Cette augmentation se calcule d'après la formule suivante, dans laquelle R représente la résistance à $t°$, r la résistance à 0° ; k et k' sont des coefficients qui dépendent de la nature du métal :

$$R = r(1 + kt + k't^2).$$

Le plus souvent on pourra appliquer la formule simplifiée

$$R = r(1 + kt),$$

qui suppose la proportionnalité de l'augmentation de résistance avec la température. Le coefficient k est alors l'accroissement de résistance par degré centigrade.

Connaissant la résistance R d'un conducteur en forme de fil cylindrique, qui a une longueur de l centimètres, et une section de s centimètres carrés, on déduira de la formule suivante la résistance spécifique ρ ou la conductibilité c du métal

$$\frac{1}{c} = \rho = \frac{R\ s}{l}.$$

On peut ainsi comparer les résistances spécifiques et les conductibilités des diverses substances.

Nous en donnons plus loin une table pour les métaux et alliages usuels.

§ 543. **Loi de Joule.** — Un courant en traversant un conducteur y détermine une élévation de température. Joule a formulé comme il suit la loi qui régit ce phénomène, quand le conducteur ne subit pas de changement moléculaire et n'accomplit aucun travail extérieur :

La quantité de chaleur dégagée dans l'unité de temps par le passage d'un courant à travers un conducteur est proportionnelle à la résistance de ce conducteur et au carré de l'intensité.

Soient q cette quantité de chaleur, R la résistance du circuit, I l'intensité du courant, α un coefficient égal à l'équivalent mécanique de la chaleur ou proportionnel à ce coefficient, suivant les unités adoptées pour les diverses grandeurs en vue ; on a

$$q = \frac{1}{\alpha} R I^2.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Soit E la différence de potentiel ; d'après la loi de Ohm,

$$I = \frac{E}{R};$$

d'où l'on tire

$$q = \frac{1}{\alpha} EI.$$

C'est-à-dire que la quantité de chaleur dégagée dans l'unité de temps est proportionnelle à la différence de potentiel et à l'intensité du courant.

On sait que toute production de chaleur correspond à une certaine dépense de travail ; et l'équivalent mécanique de la chaleur est la quantité de chaleur qu'il faut dépenser pour produire l'unité de travail. Nous pouvons donc évaluer le travail mécanique absorbé par un courant. En effet, α étant l'équivalent mécanique de la chaleur ou lui étant proportionnel, αq représente le travail absorbé par le courant ou lui est proportionnel. Donc si l'on désigne par T ce travail, on peut poser

$$T = RI^2,$$
$$T = EI.$$

En d'autres termes, le travail transformé en chaleur par un courant dans l'unité de temps est égal ou proportionnel au produit de la résistance par le carré de l'intensité, ou au produit de la force électro-motrice par l'intensité.

Le travail T′ produit pendant un temps t est donné par :

$$T' = RI^2 t,$$
$$T' = EIt.$$

Il importe d'ajouter que si le courant accomplit un certain travail extérieur, ce travail représente une partie de T ou T′ des formules précédentes, la deuxième partie fournissant seule alors de la chaleur qui se manifeste par l'échauffement du conducteur.

§ 544. **Charge électrique. Capacité.** — Si l'on met un corps conducteur, comme par exemple un câble, en communication avec un point d'une source électrique, on y accumule une certaine quantité d'électricité dépendant de la nature du corps et de la valeur électrique de la source ; et le potentiel du corps en question devient égal à celui du point. On nomme *charge* cette

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quantité d'électricité ; et la *capacité* électrique est la charge qu'il faut fournir à un corps pour élever son potentiel d'une unité. Si l'on appelle C la capacité électrique, Q la charge, V le potentiel, on a la relation

$$C = \frac{Q}{V}.$$

§ 545. **Magnétisme.** — Un aimant suspendu sans frottement par sa ligne neutre s'oriente toujours de la même façon par rapport aux pôles de la terre. Il prend à peu près la direction du méridien ; et si on l'écarte de cette position, il y revient toujours.

L'extrémité du barreau qui se dirige vers le nord de la terre prend le nom de pôle *nord* de l'aimant, l'autre se nomme le pôle *sud*. Le terme de *pôle* défini avec plus de précision représente le centre de concentration de chacune des deux sortes d'actions magnétiques ; et l'intensité du pôle s'entend de l'intensité de la résultante des dites actions.

Si l'on approche un autre aimant du barreau mobile, ce dernier s'oriente de façon à mettre les pôles de noms contraires en regard l'un de l'autre.

Ainsi, les pôles de deux aimants s'attirent quand ils sont de noms contraires ; ils se repoussent lorsqu'ils sont de même nom. La terre joue par rapport à un barreau aimanté le même rôle qu'un aimant.

Sous l'action d'un aimant, un barreau de fer doux s'aimante, c'est-à-dire qu'il se forme en lui deux pôles qui obéissent aux lois énoncées ci-dessus ; mais aussitôt que l'aimant cesse d'agir, le fer revient à l'état neutre. Un barreau d'acier, au contraire, est susceptible de conserver le magnétisme qui lui a été communiqué.

§ 546. **Champ magnétique. Lignes de force.** — Si au-dessus d'un aimant on place une feuille de papier saupoudrée de limaille de fer, on voit celle-ci se répartir suivant certaines courbes déterminées, et seulement dans un espace limité ce qui prouve que l'influence de l'aimant ne se fait pas sentir au delà d'une certaine distance, et que sa force n'agit pas d'une manière uniforme dans tous les points soumis à son action.

On nomme *champ magnétique* l'espace dans lequel s'exerce l'influence de l'aimant. Faraday a imaginé de représenter cette

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

action par des *lignes de force* donnant à chaque point du champ la direction de la force magnétique. Ces lignes sont représentées par les courbes suivant lesquelles les grains de limaille se disposent dans l'expérience précédente (fig. 78). Pour définir leur sens, on admet comme positives celles qui sont dirigées du pôle nord au pôle sud, et comme négatives celles qui ont une direction inverse.

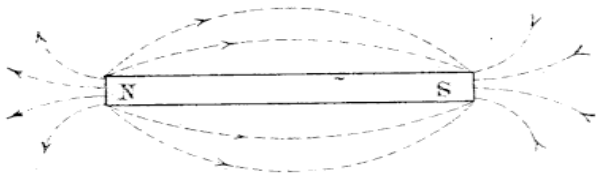


Fig. 78.

Une aiguille aimantée placée de manière à couper en un point une ligne de force, tendra à être ramenée suivant la tangente de la courbe en ce point sous l'influence du couple exercé par les deux pôles de l'aimant. On admet que chaque ligne de force correspond à une certaine valeur de la force magnétique. L'aiguille sera donc soumise à une action d'autant plus énergique qu'elle coupera un plus grand nombre de lignes de force, c'est-à-dire que celles-ci seront plus serrées. L'intensité magnétique dans un espace donné dépendra du rapprochement plus ou moins grand des lignes de force.

On appelle *méridien magnétique* le plan vertical passant par une aiguille aimantée suspendue par son centre de gravité. Le méridien magnétique fait avec le méridien terrestre du lieu un angle qu'on nomme *déclinaison*.

On appelle *inclinaison* l'angle que fait une aiguille aimantée mobile dans le méridien magnétique avec l'horizontale menée par son centre dans le plan de ce méridien.

§ 547. **Électro-magnétisme. Action des courants sur les aimants.** — Une aiguille aimantée mobile autour d'un axe, et placée dans le voisinage d'un fil parcouru par un courant, est déviée de sa position normale. C'est Œrsted qui a découvert ce phénomène, et Ampère en a formulé la loi de la manière suivante :

Un courant agissant sur une aiguille aimantée tend toujours à placer celle-ci dans une position perpendiculaire à la sienne, de manière que le pôle nord de l'aiguille soit à la gauche du courant.

Si l'on suppose un observateur couché le long du fil conduc-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

teur, de sorte qu'il regarde l'aiguille et que le courant entrant par ses pieds sorte par sa tête, la droite et la gauche de l'observateur sont la droite et la gauche du courant (fig. 79).

On multiplie l'action des courants sur l'aiguille en contournant plusieurs fois autour d'elle le fil, que l'on a soin d'entourer d'une enveloppe isolante, et que l'on enroule toujours dans le même sens. Chaque tour de fil est parcouru par le courant, et les actions concordantes s'ajoutent entre elles. On forme ainsi ce qu'on appelle un *multiplicateur*.

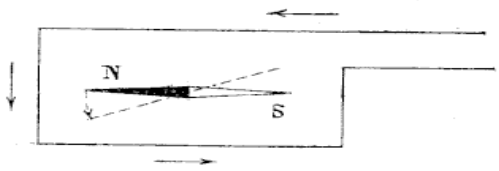


Fig. 79.

C'est sur ces principes que sont basés les galvanomètres qui servent à mesurer les courants ; nous les décrirons plus tard.

§ 548. **Système astatique**. — Quand on veut neutraliser l'action exercée par la terre sur une aiguille aimantée, on la réunit à une seconde aiguille aimantée disposée parallèlement de telle façon que les pôles de noms contraires soient superposés (fig. 80). Si les deux aiguilles ont le même degré d'aimantation et la même grandeur, les actions des pôles terrestres se neutralisent, quelle que soit l'orientation des aiguilles, et l'on a ce qu'on appelle un système *astatique*.

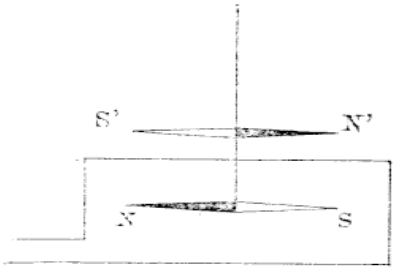


Fig. 80.

§ 549. **Électrodynamique**. — On nomme *électrodynamique* l'étude des actions réciproques que les courants exercent entre eux. Les lois de ces actions se formulent comme il suit :

1° Deux courants parallèles et de même sens s'attirent ;
2° Deux courants parallèles et de sens contraire se repoussent ;
3° Deux portions du même courant se repoussent ;
4° Deux courants angulaires s'attirent quand ils s'éloignent ou s'approchent tous les deux de leur point de croisement. Ils se repoussent si l'un s'éloigne de ce point, tandis que l'autre s'en rap-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

proche. On peut résumer cette dernière loi en disant que deux courants angulaires tendent à se placer parallèlement ;

5° Un courant sinueux très resserré produit la même action qu'un courant rectiligne qui s'en écarte infiniment peu et qui est terminé aux mêmes extrémités ;

6° L'action mutuelle de deux éléments de courants parallèles est proportionnelle au produit de leurs intensités par leurs longueurs et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

§ 550. **Action de la terre sur les courants**. — L'action que la terre exerce sur un courant mobile est analogue à celle d'un courant indéfini perpendiculaire au méridien magnétique et dirigé de l'est à l'ouest.

§ 551. **Solénoïdes**. — On appelle *solénoïde* un système de courants circulaires égaux, de même sens, dont les centres sont tous situés sur une même droite, à laquelle les plans des cercles sont perpendiculaires.

Pour construire un solénoïde, on enroule un fil A en spirales, comme l'indique la figure 81, et l'extrémité B est ramenée en avant parallèlement à l'axe.

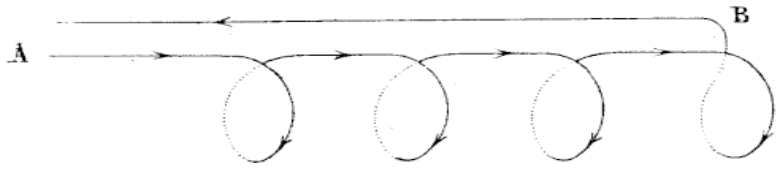


Fig. 81.

En vertu de la cinquième loi énoncée § 549 sur les courants sinueux, toutes les petites boucles du haut de chaque spire peuvent être remplacées par des éléments rectilignes ; dès lors, le courant circulant dans l'hélice agit comme s'il parcourait des cercles parallèles entre eux et la ligne droite parallèle à l'axe qui relierait ces cercles. Or, les deux courants rectilignes étant parallèles, de sens contraire et de même intensité, se neutralisent ; et le système se comporte comme s'il n'était composé que de courants circulaires.

Il existe une analogie complète entre les solénoïdes et les aimants. Sous l'influence de la terre, ils s'orientent dans le méri-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dien magnétique ; et l'extrémité qui se tourne vers le nord, c'est-à-dire le pôle nord du solénoïde, est celle en face de laquelle il faut se placer pour que le sens des courants circulaires paraisse inverse de celui de la rotation des aiguilles d'une montre.

Un solénoïde mobile sollicité par un courant tend à se placer en croix avec ce courant.

Dans deux solénoïdes, les pôles du même nom se repoussent ; ceux de noms contraires s'attirent.

Cette analogie des aimants et des solénoïdes a conduit Ampère à une théorie ingénieuse des aimants. D'après lui, les propriétés des aimants sont dues à des courants électriques circulaires autour de leurs particules. Ces courants existent dans les corps influencés par l'action magnétique.

Dans les substances magnétiques à l'état neutre, les courants particulaires n'ont pas la même orientation ; dirigés suivant tous les sens, ils se neutralisent mutuellement. Pour qu'un semblable corps s'aimante, il faut et il suffit que, sous une influence quelconque, les courants particulaires soient ramenés à marcher dans le même sens et dans des plans parallèles.

Dans un barreau aimanté, chaque série linéaire de molécules représente un petit solénoïde, dont l'axe est parallèle à celui du barreau ; et le barreau entier est la réunion de ces solénoïdes parallèles. Dans chaque section transversale, les courants particulaires agissent comme un seul courant égal à leur résultante et perpendiculaire à l'axe. L'ensemble de ces résultantes forme une série de courants circulaires parallèles et de même sens, comme dans un solénoïde.

§ 552. **Aimantation par les courants.** — Une des conséquences des lois que nous venons de passer en revue a été la découverte de l'aimantation par les courants. Arago, plaçant une aiguille de fer doux en croix avec un fil traversé par un courant, constata une aimantation de l'aiguille présentant des pôles disposés suivant la loi d'Ampère. L'aimantation cesse avec le courant. En employant une aiguille d'acier, on observe le même phénomène ; mais l'aimantation persiste après le passage du courant.

Si l'on place l'aiguille dans un tube de verre, autour duquel le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fil conducteur du courant est enroulé en hélice, on multiplie l'intensité de l'aimantation.

Fig. 82.

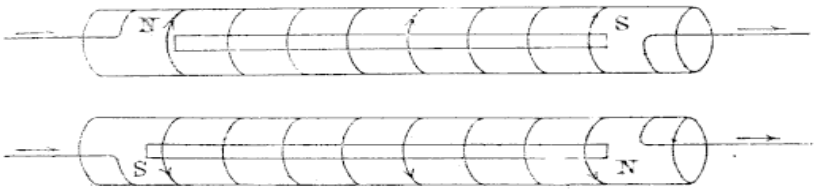


Fig. 83.

La loi d'Ampère suffit pour indiquer la position des pôles. Si l'enroulement se fait de droite à gauche, comme dans la figure 82, le pôle nord est du côté de l'entrée du courant. Si l'enroulement est de gauche à droite (fig. 83), le pôle nord se trouve du côté de la sortie.

En résumé, le pôle nord se forme à l'extrémité devant laquelle il faut se placer pour que le sens des courants circulaires paraisse inverse de celui du mouvement des aiguilles d'une montre.

§ 553. — **Électro-aimants**. — Si l'on place un barreau de fer doux AB (fig. 84) dans l'axe d'une bobine, sur laquelle est enroulé un fil de cuivre entouré d'une enveloppe isolante, le passage d'un courant à travers le fil produit dans le fer une aimantation dont l'intensité augmente avec le nombre de spires ; et chaque extrémité du barreau devient un pôle dont le signe est déterminé par la règle précédente. L'appareil ainsi formé constitue ce qu'on appelle un *électro-aimant*.

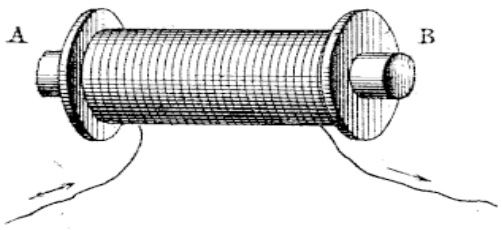


Fig. 84.

Quand le fer est parfaitement pur, l'aimantation commence et cesse avec le courant ; le fer pur n'a aucune *force coercitive*. Mais cette force se développe par l'effet de l'écrouissage ; aussi les barreaux doivent-ils être recuits plusieurs fois après qu'on leur a donné la forme qu'ils doivent avoir, et il faut éviter de les travailler au marteau.

En réalité, il reste toujours dans l'électro-aimant une certaine

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quantité d'électricité après que le courant a cessé d'agir. C'est ce qu'on appelle le magnétisme *rémanent*.

La disposition que nous avons décrite ci-dessus est celle de l'électro-aimant *droit*.

Si l'on recourbe le barreau en fer à cheval (fig. 85), et qu'on place chaque branche dans une bobine sur laquelle s'enroule un même fil, on pourra disposer l'enroulement de manière à avoir en A un pôle nord et en B un pôle sud. On obtiendra ce résultat si, en imaginant le barreau redressé de façon à superposer les faces supérieures des bobines, les deux hélices sont enroulées de manière à se placer dans le prolongement l'une de l'autre.

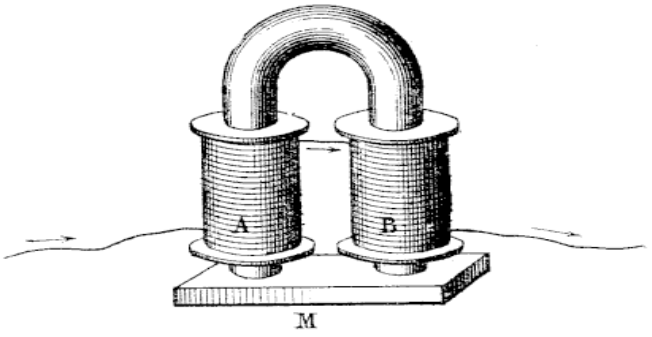


Fig. 85.

La force de l'électro-aimant est augmentée par la forme en fer-à-cheval.

La pièce de fer doux M, sur laquelle s'exerce l'attraction de l'électro-aimant, se nomme *armature*.

On donne aux électro-aimants différentes dispositions, suivant les usages auxquels on les destine. Nous les passerons en revue en décrivant les appareils auxquels ils sont adaptés.

En théorie, l'intensité d'aimantation du barreau dépend du nombre de spires de la bobine ; mais, en pratique, on est forcé de s'arrêter à une limite. Car on est amené à employer des fils fins, pour augmenter l'enroulement. La résistance croit en conséquence, et l'intensité du courant diminue. Dans la construction d'un électro-aimant, il existe donc plusieurs éléments que l'on doit prendre en considération. On s'appuie généralement sur des données d'expériences pour résoudre le problème.

§ 554. **Courants d'induction.** — Un courant peut servir à engendrer d'autres courants, ainsi que Faraday l'a démontré. Les courants ainsi produits se nomment *courants induits*, et ceux qui leur donnent naissance sont les courants *inducteurs*. Un courant induit est *direct* quand il est de même sens que le courant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

inducteur ; lorsqu'il est de sens contraire il est *inverse*. Les lois suivantes ont été établies par Faraday :

1° Un courant qui commence induit dans un circuit voisin un courant inverse ;

2° Un courant qui finit induit dans ce circuit un courant direct ;

3° Un courant qui s'approche d'un circuit y développe un courant induit inverse ;

4° Un courant qui s'éloigne d'un circuit y produit un courant induit direct.

Un aimant étant, comme on l'a vu, assimilable à un solénoïde, peut produire des phénomènes d'induction analogues à ceux qui résulteraient des courants particulaires dont il est formé.

Un aimant qui s'approche d'un circuit, ou qui se forme dans son voisinage, détermine un courant induit inverse de celui du courant particulaire.

Un aimant qui s'éloigne, ou qui perd son magnétisme, induit dans ce circuit un courant direct.

La loi de Lenz résume ces phénomènes de la façon suivante :

Quand on déplace un circuit devant un courant ou un aimant, ou réciproquement, le sens du courant induit est tel qu'il tend à gêner le mouvement.

La notion des lignes de force et du champ magnétique permet de formuler les lois d'induction des courants par les aimants d'une manière différente, dont l'application est plus simple.

Quand un conducteur est mis en mouvement dans un champ magnétique, de façon à couper les lignes de force, il se développe dans ce conducteur une force électromotrice dans une direction perpendiculaire au sens du mouvement ainsi qu'à la direction des lignes de force. Le sens de ce courant peut être déterminé de la manière suivante : la direction positive des lignes de force étant supposée du pôle nord au pôle sud, admettons qu'un observateur soit couché sur le conducteur, et tourné de façon à regarder dans la direction positive des lignes de force ; si le mouvement du conducteur a lieu vers la gauche de l'observateur, le courant entrera par sa tête et sortira par ses pieds. Si le mouvement du conducteur se fait vers la droite de l'observateur, le courant entrera par ses pieds et sortira par sa tête. Ainsi, dans le champ

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

magnétique NS (fig. 86), le conducteur AB se déplaçant dans le sens *f*, le courant induit marchera de B en A.

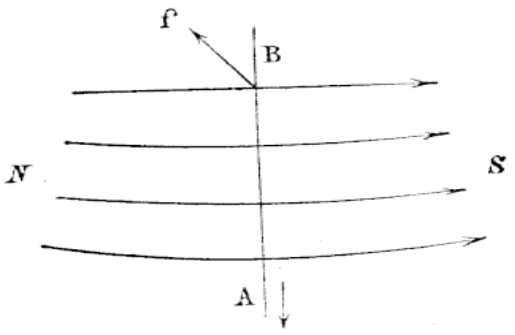


Fig. 86.

Pour qu'il y ait induction de courants dans un conducteur, il faut entre le conducteur et l'aimant un mouvement relatif de nature à modifier le nombre de lignes de force coupées par le circuit. Un conducteur qui se meut de manière à rencontrer toujours le même nombre de lignes de force n'engendre pas de courant induit.

Une augmentation dans le nombre des lignes de force coupées par le conducteur produit un courant de sens contraire à celui que détermine une diminution dans le nombre de ces mêmes lignes de force.

Plus un pôle d'aimant ou un champ magnétique est puissant, plus, toutes choses égales d'ailleurs, le courant induit est considérable.

Plus le mouvement est rapide, plus le courant est intense.

Plus grande est la longueur du conducteur mobile qui coupe les lignes de force, plus est grande l'intensité du courant engendré.

Nous verrons une application intéressante de ces lois dans les machines électriques.

§ 555. **Extra-courant. Courants induits d'ordre supérieur.** — Un fil métallique pouvant être regardé comme formé d'une série d'éléments juxtaposés, on conçoit que des phénomènes d'induction puissent être produits entre deux éléments consécutifs par le courant même qui traverse le fil. Ce phénomène d'induction d'un courant sur lui-même se nomme *extra-courant* ou *self-induction*. Lorsque le fil est enroulé en hélice, ces courants se développent avec plus de force, parce que le courant de chaque spire agit comme un courant extérieur pour les spires voisines. Quand le courant augmente d'intensité, ou qu'on ferme le circuit, l'extra-courant se produit en sens inverse et diminue le courant principal. Lorsque le courant diminue

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'intensité, ou qu'on ouvre le circuit, l'extra-courant agit en sens direct et augmente le courant principal.

Les courants induits, agissant à leur tour comme courants primaires, peuvent produire, dans des circuits voisins, des courants induits, qui jouent eux-mêmes un rôle analogue par rapport à d'autres circuits. On forme ainsi des courants induits secondaires, tertiaires, etc.

§. 556. **Unités absolues. Système *C G S*.** — Le système d'unités électriques actuellement adopté se rattache à un système d'unités absolues (c'est-à-dire indépendantes de tout arbitraire), en usage aujourd'hui d'une façon générale. Ce système s'appelle *centimètre-gramme-seconde*, ou *C G S*, parce qu'il admet le centimètre pour unité de *longueur*, la seconde pour unité de *temps*, et pour unité de *masse*, la masse d'un corps pesant un gramme à Paris.

De ces trois unités fondamentales, on a fait *dériver* les unités suivantes :

Force. — L'unité de force *CGS* se nomme la *dyne*. C'est la force capable de communiquer, dans une seconde à l'unité de masse, une accélération égale à l'unité. Elle vaut donc $\frac{1^{gr}}{980^{cm},88}$, le nombre $980^{cm},88$ représentant l'accélération des graves en centimètres.

Travail. — L'unité *CGS* de travail se nomme l'*erg*. C'est le travail produit par une dyne agissant sur un point qui parcourt dans sa direction une longueur égale à 1 centimètre.

Unité de pôle magnétique. — L'unité *CGS* d'intensité de pôle magnétique (§ 545) est celle du pôle qui, agissant à la distance de 1 centimètre sur un pôle identique, exerce une force de répulsion de 1 dyne.

Unité d'intensité. — L'unité de pôle étant définie, on prend pour unité *CGS* d'intensité de courant celle du courant qui, traversant un circuit long de 1 centimètre et courbé en arc de cercle de 1 centimètre de rayon, exerce une force de 1 dyne sur un pôle magnétique ayant une intensité égale à l'unité et placé au centre du circuit.

Unité de quantité. — L'unité *CGS* de quantité est celle qui est fournie, pendant une seconde, par un courant dont l'intensité est égale à l'unité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Unité de force électromotrice. — L'unité *CGS* de force électromotrice est celle qui existe dans un circuit quand le passage de l'unité de quantité développe un travail égal à un erg.

Unité de résistance. — La formule $I = \frac{E}{R}$ permet de déterminer l'unité *CGS* de résistance. C'est celle d'un circuit qui est traversé par un courant d'intensité égale à l'unité, dû à l'unité de force électromotrice.

Unité de capacité. — La capacité d'un condensateur est égale à une unité *CGS*, quand il renferme une quantité d'électricité égale à l'unité avec un potentiel égal lui-même à l'unité.

§ 557. **Unités électriques pratiques.** — Le système *CGS*, acceptable pour les calculs de laboratoire, conduirait, en électricité industrielle, pour les mesurages électriques à des nombres d'un emploi peu commode, tantôt à cause de leur grandeur, tantôt au contraire à cause de leur petitesse. On est alors convenu de modifier les valeurs des unités *CGS* suivant des multiples ou des sous-multiples décimaux d'elles-mêmes ; et l'on a adopté le système d'unités *pratiques* admis par le Congrès des électriciens de 1881.

Volt. — L'unité pratique de force électromotrice est le *volt*. C'est à peu près la force électromotrice d'un couple Daniell. Il vaut 10^8 unités *CGS* de force électromotrice.

Ohm. — L'unité pratique de résistance est l'*ohm*. C'est la résistance que présente une colonne de mercure ayant 1 millimètre carré de section et 106 centimètres de longueur à la température de 0°. C'est environ la résistance d'un fil de cuivre pur ayant 1 millimètre de diamètre et 48^m de longueur, ou celle d'un fil de fer présentant 4 millimètres de diamètre et 100^m de long. L'*ohm* vaut 10^9 unités *CGS* de résistance.

Ampère. — L'unité pratique d'intensité est l'*ampère*. C'est l'intensité du courant produit par une force électromotrice de 1 volt dans un conducteur ayant un ohm de résistance. Un courant d'un ampère fait déposer $1^{milligr},11888$ d'argent par seconde dans l'électrolyse de ce métal (§ 598). Ce même courant décompose $0^{milligr},09325$ d'eau aussi par seconde dans un voltamètre. L'*ampère* vaut 10^{-1} de l'unité *CGS* d'intensité.

Coulomb. — L'unité pratique de quantité est le *coulomb*. C'est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la quantité d'électricité fournie dans une seconde par un courant ayant une intensité d'un ampère. Le *coulomb* vaut 10^{-1} de l'unité *C G S* de quantité.

On emploie souvent en pratique le terme *ampère-heure*. C'est la quantité d'électricité fournie pendant une heure par un courant ayant une intensité d'un ampère. Un ampère-heure vaut donc 3.600 coulombs.

Farad. — L'unité pratique de capacité est le *farad*. C'est la capacité d'un condensateur renfermant une quantité d'électricité égale à un coulomb avec une différence de potentiel de un volt. Le *farad* vaut 10^{-9} de l'unité *C G S* de capacité.

§ 558. **Multiples et sous-multiples**. — On peut, pour simplifier, désigner par des préfixes les multiples et les sous-multiples des unités pratiques que nous venons d'énoncer.

Le préfixe	Méga	signifie	1.000.000	de fois l'unité.
—	Myria	—	10.000	—
—	Kilo	—	1.000	—
—	Milli	—	$\frac{1}{1.000}$	—
—	Micro	—	$\frac{1}{1.000.000}$	—

Ainsi 1 mégohm représente 1.000.000 d'ohms ; 1 microfarad est $\frac{1}{1.000.000}$ de farad ; etc.

§ 559. **Volt-ampère ou watt ; volt-coulomb**. — En nous reportant à la loi de Joule (§ 543), nous savons que le travail propagé par un courant est égal au produit de la différence de potentiel par la quantité d'électricité :

$$T = EIt.$$

Le produit EI se mesure en *volt-ampère* ou *watt*. L'unité volt-ampère est le travail produit par un courant ayant une intensité d'un ampère et une différence de potentiel de 1 volt.

It représente la quantité d'électricité fournie dans un temps donné t ; et le produit EIt se mesure en *volt-coulomb*. L'unité volt-coulomb est le travail produit par 1 coulomb pour une différence de potentiel de 1 volt.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 560. **Unités pratiques de mécanique, de chaleur et de lumière. — Énergie : conservation.** — Rappelons brièvement les unités dont il s'agit :

Pour les longueurs, c'est le *mètre*, qui vaut 10^5 unités *CGS* de longueur.

Pour les forces, on emploie le *kilogramme*, qui est égal à $10^5 \times 9{,}8088$ *dynes* ou unités *CGS* de force.

Pour les masses, l'unité est la *masse de* $9^{kg},8088$, laquelle vaut $10^3 \times 9{,}8088$ unités *CGS* de masse.

Le travail se mesure avec le *kilogrammètre*, qui vaut $10^7 \times 9{,}8088$ *ergs* ou unités *CGS* de travail.

Le *cheval-vapeur* représente 75^{kgm} par seconde.

Pour la chaleur, on se sert de la *grande calorie* ou *calorie-kilogramme*, qui est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° centigrade la température de 1^{kg} d'eau. (Dans les expériences de laboratoire, on emploie la *petite calorie*, qui correspond à un gramme d'eau).

De son côté, l'*équivalent mécanique de la chaleur* est le nombre de kilogrammètres nécessaire pour produire une calorie par un travail mécanique. Il vaut 424^{kgm}.

Enfin, l'unité *de lumière* ou *photométrique* est le bec Carcel, lampe brûlant à l'heure 42^{gr} d'huile de colza épurée, avec une flamme de 40^{mm}, dans des conditions dûment spécifiées.

D'après la science contemporaine, tous les phénomènes de la nature sont dus exclusivement au travail mécanique ou à de la force vive sous diverses formes, entités auxquelles on donne aujourd'hui le nom commun d'*énergie*.

Dans le mouvement visible des corps on a : 1° du travail mécanique proprement dit, ou de l'*énergie sensible;* 2° de la *force vive*, due aux vitesses correspondantes, et appelée de l'*énergie actuelle*.

Dans les changements d'état physique ou de constitution chimique des corps, qui proviennent toujours des déplacements de leurs atomes entre eux, on a de l'*énergie potentielle* (1), qui correspond à l'idée physique de chaleur latente.

De leur côté, les variations de force vive vibratoire des atomes

(1) Il ne faut pas confondre cette expression avec celle de *potentiel* (§ 538), qui a une signification toute différente.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

s'appellent de l'*énergie calorifique*, et correspondent à l'idée physique de chaleur sensible (1).

Quand on considère les phénomènes lumineux et de chaleur rayonnante ainsi que les phénomènes électriques, il convient d'attribuer les premiers au jeu de l'éther cosmique *seul* à travers les corps transparents, et les seconds au jeu de ce même éther dans son *association* à la matière pondérable.

Cet ordre d'idées conduit à regarder l'éther cosmique comme constitué, lui aussi, d'atomes doués de masse et ayant de l'action les uns sur les autres, ainsi que sur les atomes pondérables. Il en résulte que l'éther doit posséder aussi de la pondérabilité ; mais, en raison des effets qui sont exclusivement spéciaux à cette substance, sa pondérabilité doit aussi être spéciale, et différente de celle des corps exclusivement appelés jusqu'ici pondérables. Les masses des atomes d'éther sont extrêmement faibles ; mais leurs vitesses vibratoires sont excessivement grandes.

Cela admis, la force vive vibratoire de l'éther, jouant à travers les corps transparents, constitue de l'*énergie lumineuse* ou de l'*énergie de chaleur rayonnante*.

D'un autre côté, la force vive vibratoire de l'éther associé à la matière pondérable, aussi bien que les travaux mécaniques propagés, grâce à ses modes de groupement dans cette même association, donnent lieu à de l'*énergie électrique*. Ainsi, les courants sont dus, en réalité, à des groupements successifs de l'éther au sein des conducteurs ; et les atomes de cette substance, en vibrant alors sur place (ce qu'on appelle *mouvement stationnaire*), propagent du travail ; d'autre part, l'*énergie électrique* se manifeste encore dans les décharges ; il y a alors projections de plus ou moins grandes masses d'éther, animées de vitesses considérables de transport.

Les développements précédents étant bien compris, il y a, dans tous les phénomènes de la nature, des échanges continuels entre un plus ou moins grand nombre des diverses sortes d'énergies sus-spécifiées ; autrement dit, on est en présence d'incessantes *transformations et propagations d'énergie*. Il est démontré que dans toutes lesdites transformations et propagations, les

(1) Ces questions sont développées en détail sous le titre de *Thermodynamique pratique* dans LES NOUVELLES MACHINES MARINES de M. Ledieu, ainsi que dans sa THÉORIE ÉLÉMENTAIRE DES MACHINES A FEU.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

quantités d'énergie dépensées se retrouvent toujours intégralement sous une forme ou sous une autre, ce qui constitue un des plus importants principes de la science moderne, à savoir : *le principe de la conservation de l'énergie*.

§ 561. **Usage des unités électriques pratiques**. — Si, dans les formules que nous avons exposées précédemment pour exprimer les lois électriques (lois de Ohm, de Joule, etc.), on remplace les lettres par les grandeurs qu'elles représentent exprimées en *unités électriques C G S*, les relations obtenues sont *cohérentes*, c'est-à-dire qu'elles subsistent *ipso facto* sans l'introduction d'aucun coefficient.

Quand on fait usage des unités *pratiques*, électriques et autres, ce qui est nécessaire en électricité industrielle (§ 557), les relations en question, sauf la formule de Ohm, cessent d'être *cohérentes*. Il faut alors, dans ces relations, introduire un coefficient spécial à chacune d'elles. Pour montrer comment on calcule chaque coefficient, il suffit d'opérer sur un seul exemple, qui donnera la marche à suivre pour les autres cas.

Nous choisirons la formule de Joule, qui renferme le type des problèmes les plus intéressants qu'on ait à résoudre en électricité industrielle.

D'après ce qui vient d'être dit, on a la formule *cohérente*

$$T^{ergs} = E^{cgs} \times I^{cgs} \times t^{sec}.$$

En remplaçant les unités *C G S* par leurs valeurs respectives en unités *pratiques*, il vient

$$T^{kgm} \times 10^{7} \times 9{,}8088 = E^{volts} \times 10^{8} \times I^{ampères} \times 10^{-1} \times t^{sec}.$$

D'où

$$T^{kgm} = \frac{E^{volts} \times I^{ampères} \times t^{sec}}{9{,}8088} = \frac{(EIt)^{volts\text{-}coulombs}}{9{,}8088}.$$

Donnons un exemple numérique :

Soit à calculer en kilogrammètres le travail développé en 10 secondes par un courant ayant une force électromotrice de 5 volts et une intensité de 40 ampères. Le nombre de volts-coulombs est donné par

$$5 \times 40 \times 10 = 2000 ;$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et le nombre de kilogrammètres correspondant vaut

$$\frac{2000}{9,8088} = 203,9.$$

S'il s'agissait de calculer en kilogrammètres le travail T développé en 10 secondes dans un conducteur présentant une résistance de $0^{ohm},75$, l'intensité étant de 45 ampères, on aurait

$$T = \frac{RI^2t}{9,8088} = \frac{0,75 \times \overline{45}^2 \times 10}{9,8088} = \frac{15187,5}{9,8088} = 1548 \text{ kilogrammètres.}$$

Enfin, pour avoir le nombre C de calories que peut produire un courant, il suffit de diviser par 424 le nombre de kilogrammètres exprimant le travail de ce courant ; et il vient en unités pratiques :

$$C = \frac{EIt}{9,8088 \times 424};$$

ou

$$C = \frac{RI^2t}{9,8088 \times 424}.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

6E PIE. — CHAPITRE II

APPAREILS DE MESURE

GALVANOMÈTRES

§ 562. — Les galvanomètres sont des appareils destinés à déceler les courants électriques et à les mesurer. Ils reposent sur la propriété qu'ont les courants de produire une déviation sur l'aiguille aimantée. Ce phénomène a été étudié dans les § 547 et 548, où nous avons donné la théorie du multiplicateur et du système d'aiguille astatique.

§ 563. **Galvanomètre d'essai.** — Dans le galvanomètre d'essai (fig. 87), employé pour le service des défenses sous-marines, le multiplicateur est formé d'un cadre en bois, sur lequel est enroulé le fil aboutissant aux bornes B et B'. L'aiguille aimantée horizontale peut se mouvoir dans l'intérieur de ce cadre. Un globe de verre G la protège contre les agitations de l'air. Les déviations de l'aiguille peuvent être observées au moyen d'un index I, qui lui est fixé perpendiculairement, et qui parcourt un demi-cercle divisé D, porté par le cadre multiplicateur. Pour se servir de l'instrument, on doit d'abord orienter le cadre multiplicateur dans la direction du méridien magnétique.

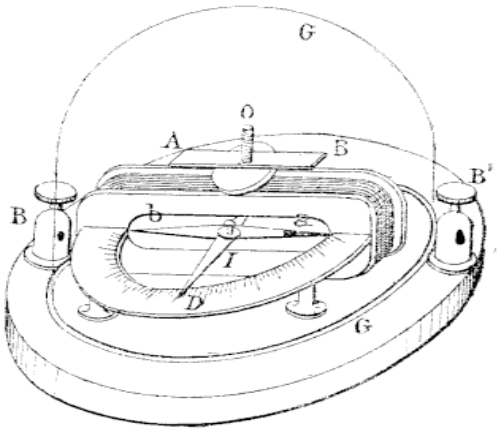


Fig. 87.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'intensité du courant dans ce galvanomètre n'est proportionnelle à la déviation de l'aiguille que pour un très petit nombre de degrés. La lecture de la déviation ne peut donc servir qu'à classer dans l'ordre de leur grandeur des courants d'intensités différentes.

Le plus souvent un petit aimant directeur AB se trouve placé au-dessus du cadre multiplicateur. Il est mobile dans un plan horizontal. Il permet soit de rendre le galvanomètre plus sensible, soit de s'affranchir de l'obligation de mettre le plan du multiplicateur dans la direction du méridien magnétique.

Si c'est ce dernier but que l'on cherche, il faut placer l'aimant directeur le plus près possible de l'aiguille aimantée. Celle-ci en suivra tous les mouvements ; et il ne sera plus difficile, pour une position donnée quelconque du multiplicateur, de faire tourner l'aimant jusqu'à amener l'aiguille à être parallèle au multiplicateur. Si l'aimant directeur est très puissant, il arrivera même qu'en e plaçant parallèlement au cadre du multiplicateur, on pourra donner à celui-ci toutes les directions sans que l'aiguille aimantée cesse de lui être parallèle.

Si l'on veut se servir de l'aimant directeur de façon à rendre le galvanomètre plus sensible, il faut d'abord orienter le cadre multiplicateur et l'aiguille dans le plan du méridien magnétique ; puis on place l'aimant directeur parallèlement, son pôle sud tourné vers le nord. Dans cette position, la force directrice de l'aimant neutralise celle de la terre.

Ce galvanomètre n'est jamais employé pour mesurer l'intensité d'un courant. On s'en sert seulement pour déceler l'existence des courants quand ils ont une intensité assez grande.

§ 564. **Galvanomètre à fil de cocon**. — Le multiplicateur (fig. 88) est formé d'un fil enroulé sur un cadre plat ne laissant dans son intérieur que la place suffisante pour les mouvements de l'aiguille. L'équipage mobile est formé d'un système astatique de deux aiguilles : l'une est placée dans le multiplicateur ; et l'autre *ab*, située au-dessus, peut parcourir un cadran divisé fixé sur le cadre.

L'appareil est monté sur un pied à vis calantes, et peut tourner sur ce pied ; ce qui permet d'orienter le cadran de façon que l'aiguille supérieure se trouve sur le zéro de la graduation (parallè-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lement aux spires du multiplicateur) quand l'appareil n'est traversé par aucun courant.

Les deux bouts du fil du multiplicateur aboutissent à deux bornes, où l'on fixe les extrémités du circuit que parcourt le courant.

Le fil de cocon qui supporte les aiguilles est attaché à une pièce métallique susceptible de monter ou de descendre. Cette disposition permet, quand on ne se sert pas de l'instrument, d'abaisser l'aiguille supérieure jusqu'à ce qu'elle repose sur le multiplicateur. De cette façon on ne risque pas de casser le fil de cocon par des efforts de traction exercés sur lui pendant les transports de l'instrument.

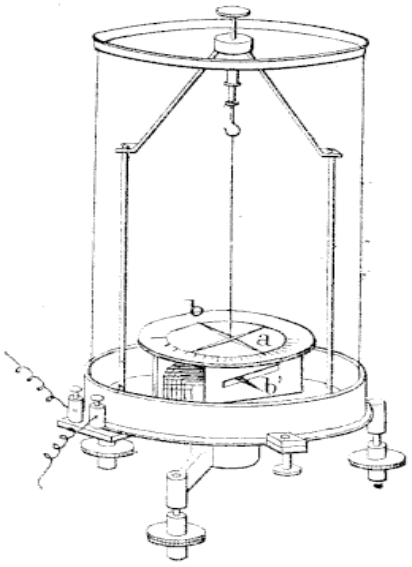


Fig. 88.

Pour se servir du galvanomètre, on commence par le mettre de niveau au moyen des vis calantes. Le système prend une position d'équilibre qui dépend de l'égalité plus ou moindre parfaite de magnétisme des deux aiguilles. Si le système n'est pas tout à fait astatique, les aiguilles se placent dans le méridien magnétique. Dans le cas contraire, elles sont en équilibre dans une position quelconque.

Généralement la direction des aiguilles ne coïncide pas avec la ligne 0° 180° du cercle gradué; l'orientation du cadre et du cercle gradué se produit au moyen d'un engrenage intérieur mis en mouvement par un bouton fileté.

On relie alors les fils conducteurs aux bornes du galvanomètre, et l'appareil est prêt à fonctionner.

§ 565. **Galvanomètre à miroir de Thomson.** — Le but de cet appareil est de rendre sensibles les plus petites déviations de l'aiguille, qui sont parfois invisibles dans les galvanomètres ordinaires. L'aiguille aimantée très légère porte un petit miroir concave, sur lequel on dirige un rayon lumineux émanant d'une lampe. Le rayon réfléchi se meut le long d'une échelle graduée placée à un mètre environ de distance. Les angles du miroir

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

se trouvent ainsi fortement accusés ; et les déplacements des rayons sur la règle traduisent, en les accentuant, les mouvements de l'aiguille.

La lumière de la lampe passe à travers une fente étroite ; et, après s'être réfléchie sur le miroir, elle vient former une ligne lumineuse sur l'échelle.

Quand on veut lire avec plus d'exactitude les déplacements de l'image, on se sert d'un écran dans lequel la fente est remplacée par un trou circulaire traversé par un fil fin vertical. L'image réfléchie est alors un cercle lumineux traversé par une ligne noire verticale. Quelquefois on place devant l'ouverture de la lampe une lentille, qui permet la mise au point de l'image, et lui donne plus de netteté.

Le miroir concave peut être remplacé par un miroir plan. Il faut alors faire converger les rayons réfléchis au moyen d'une lentille placée devant le miroir.

M. Carpentier a adopté une échelle transparente qui permet à l'observateur de se placer en face de l'appareil, ce qui facilite les opérations.

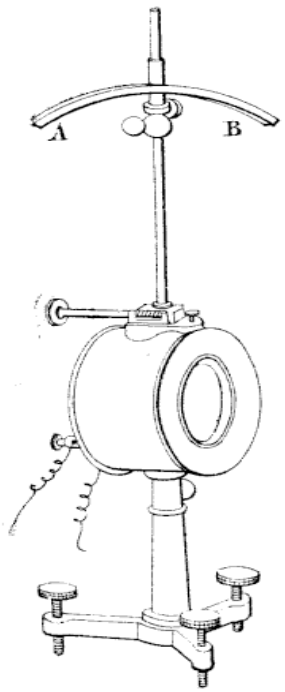


Fig. 89.

Ces galvanomètres sont quelquefois astatiques. D'autres fois, ils affectent la disposition contraire.

Dans la forme non astatique (fig. 89), le miroir et les aiguilles sont suspendus par un fil de cocon au centre d'une bobine circulaire.

Pour éviter l'obligation de mettre l'appareil dans la direction du méridien magnétique, on emploie un aimant directeur courbe AB, supporté par une tige verticale, le long de laquelle il peut glisser, et qui lui permet également de pivoter.

Cet aimant constitue un méridien artificiel que l'on oriente à sa guise, et son action peut encore être utilisée pour modifier la sensibilité de l'appareil. Si les pôles de l'aimant directeur sont placés comme ceux de la terre, la sensibilité de l'instrument diminue. Si on fait tourner au contraire l'aimant de 180°,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on oppose sa force directrice à celle de la terre ; et, en le faisant glisser le long de la tige verticale, on peut lui donner une position telle que son action neutralise presque entièrement celle de la terre. Le galvanomètre a alors toute sa sensibilité.

Pour se servir de l'appareil, on commence par le mettre de niveau ; puis on amène l'image lumineuse au zéro de l'échelle, en faisant tourner l'aimant directeur, et en agissant sur le miroir par une vis micrométrique placée à la partie supérieure.

Dans le modèle astatique, il existe deux systèmes d'aiguilles entourés chacun d'une bobine. Les deux bobines sont enroulées en sens contraire.

Ces instruments sont très sensibles, et exigent une stabilité absolue de l'endroit où on les pose.

§ 566. **Galvanomètre Deprez et d'Arsonval.** — Dans cet appareil (fig. 90), l'aimant AA′ est fixe, et le cadre multiplicateur CC′ mobile. Ce sont les déviations de ce dernier qui servent à mesurer les courants qui le parcourent.

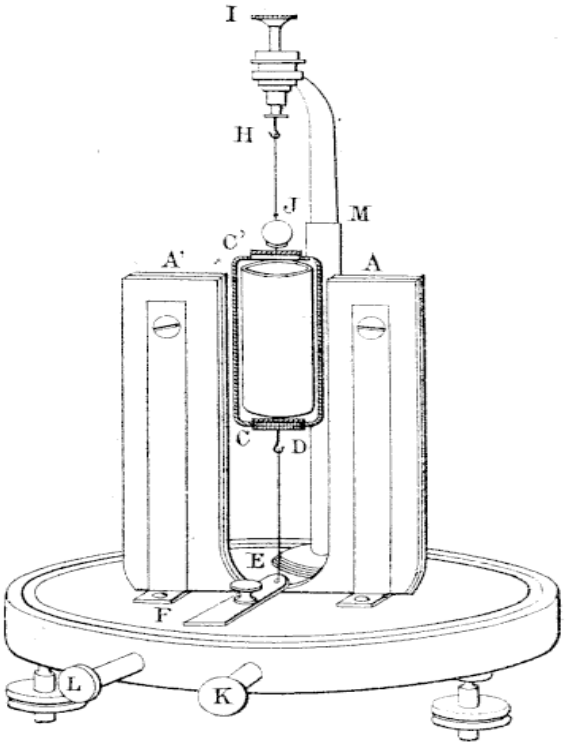


Fig. 90.

Entre les branches d'un aimant en fer à cheval AA′ est suspendu, au moyen de deux fils de platine ou de cuivre DE et HJ, un cadre multiplicateur fait de fil très fin. Les fils de suspension sont fixés l'un à une lame élastique F, dont la tension est réglée par une vis, l'autre à l'extrémité d'une tige I, qui peut recevoir soit un mouvement de rotation pour orienter le cadre, soit un mouvement de translation pour placer le cadre à une hauteur convenable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les fils qui constituent l'axe d'oscillation du cadre, servent en même temps à amener le courant dans le fil du multiplicateur, leurs extrémités étant attachées aux deux bornes K et L.

La déviation est mesurée au moyen d'un miroir collé sur le cadre mobile et d'une échelle munie d'une lampe, comme pour les galvanomètres décrits précédemment (§ 565).

Un tube de fer placé à l'intérieur du cadre rend plus énergique l'action de l'aimant. Quand un courant circule dans le cadre, le couple de torsion des fils fait équilibre à l'action de l'aimant. Les mouvements du cadre dans le champ magnétique y déterminent des courants d'induction, dont l'effet est d'arrêter les oscillations du cadre. Cet instrument, quoique très sensible, a, par suite de sa disposition, l'avantage de prendre rapidement sa position d'équilibre, tandis que, dans le galvanomètre de Thomson, les oscillations durent toujours assez longtemps.

MESURE DES INTENSITÉS

§ 567. **Ampère-mètres. Théorie.** — Ces appareils sont destinés à donner directement l'intensité des courants en ampères, sans calculs. Cette intensité est indiquée soit par la graduation même du cadran, soit au moyen d'une table annexée à l'instrument. Comme ces appareils sont destinés à l'industrie, on a cherché à diminuer les oscillations de l'aiguille de manière à faciliter les lectures.

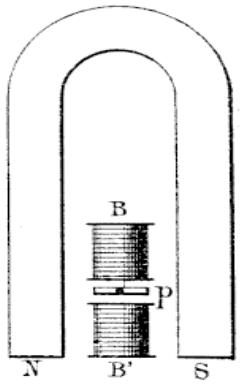


Fig. 91.

Voici sur quel principe on s'appuie :

Si dans le champ d'un puissant aimant en fer à cheval NS (fig. 91), on dispose deux bobines B, B′, fixes, reliées en quantité, et comprenant entre elles une pièce en fer doux p mobile sur un axe vertical, celle-ci se place suivant la ligne des pôles N S. Mais le passage d'un courant dans les bobines modifie cette position ; et les déviations produites étant mesurées pour chaque intensité de courant, on peut constituer une graduation donnant le nombre d'ampères correspondant aux degrés du cadran.

§ 568. **Ampère-mètre de MM. Deprez et Carpen-**

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tier. — Dans cet appareil d'un usage très simple, le champ magnétique est formé de deux aimants demi-circulaires A, A′ (fig. 92) ; les deux bobines M, M′ sont placées obliquement. Cette disposition a pour but d'augmenter la déviation dans un sens, et de l'annuler dans le sens contraire ; il faut donc que le courant traverse l'instrument dans une direction déterminée. L'obliquité des bobines peut être modifiée pour le réglage de l'appareil. La bobine, formée d'une lame de cuivre, offre très peu de résistance. Les divisions du cadran sont inégales, et correspondent à des nombres exacts d'ampères. Pour employer l'instrument, il suffit de l'intercaler dans le circuit, en observant le sens du courant.

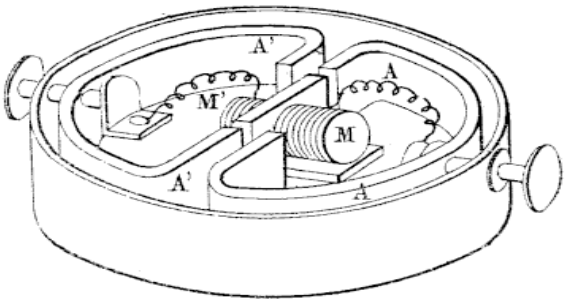


Fig. 92.

§ 569. **Ampère-mètre de Deprez à arête de poisson.** — Cet appareil (fig. 93) se compose d'un fort aimant horizontal GH en fer à cheval, et entre les branches duquel il y a une bobine rectangulaire. Le barreau de fer doux RS a la forme dite à *arête de poisson*, destinée à augmenter sa force de polarisation. Ce barreau mobile, sur un axe horizontal, porte une poulie R qui transmet son mouvement à une seconde poulie R′, ayant un diamètre cinq fois plus petit, afin d'augmenter les déviations.

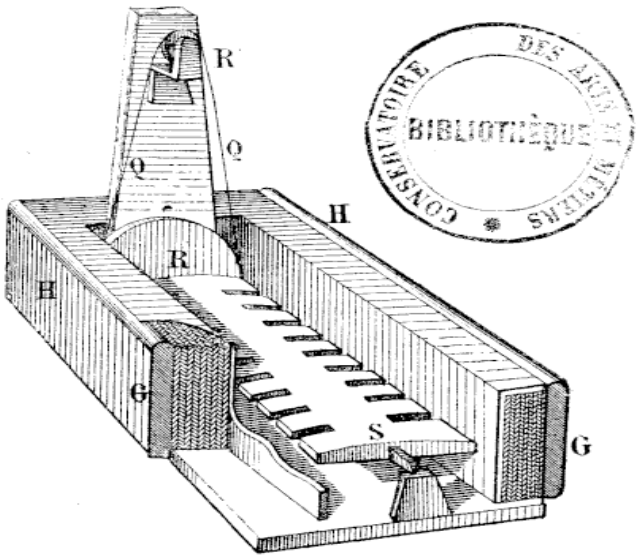


Fig. 93.

La bobine est formée d'une lame de cuivre recouverte de soie, et assez épaisse pour opposer au courant une résistance négligeable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La poulie R′ porte une aiguille, qui se meut sur un cadran, dont les indications, multipliées par un coefficient propre à chaque appareil, donnent le nombre d'ampères du courant. Sur le cadre de la bobine existe un second circuit à fil fin et présentant une grande résistance. Il sert, comme nous le verrons plus loin (§ 574), à indiquer les différences de potentiel.

§ 570. **Ampère-mètre de Thomson**. — Cet appareil (fig. 94) se compose d'un conducteur en cuivre isolé C, enroulé

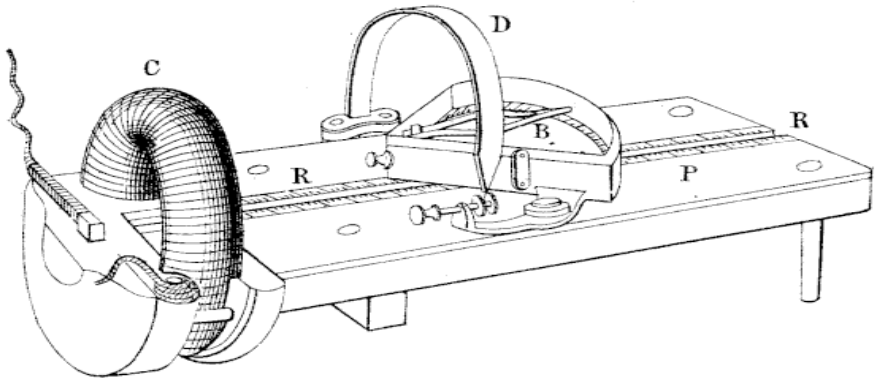


Fig. 94.

plusieurs fois sur lui-même, et affectant la forme d'un tore. Il est placé verticalement à l'extrémité d'une planchette P en bois, que supportent des vis calantes. Sur cette plate-forme est pratiquée une rainure R, dans laquelle glisse une boite B, en forme de secteur, et à couvercle en verre. La boite contient une aiguille aimantée reliée à un index en aluminium qui se meut sur un cadran. En faisant varier la distance du secteur au conducteur, on modifie dans de grandes proportions la sensibilité de l'appareil.

Il existe une graduation sur le secteur et une échelle divisée sur la planchette. Cette division est déterminée de telle façon que si l'on fait passer un courant dans l'anneau, l'intensité I sera égale au nombre de degrés d indiqué par le secteur, divisé par le nombre de degrés α donnant sur la plate-forme la position du centre de l'aiguille ; et ce quotient sera multiplié par la composante horizontale H du magnétisme terrestre aux environs de l'aiguille. On aura donc

$$I = \frac{H \times d}{\alpha}.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La composante H varie avec le milieu dans lequel on est placé. On la détermine en faisant passer dans l'appareil un courant d'intensité connue I′ ; on a alors

$$H = \frac{I'\alpha}{d}.$$

L'instrument est très sensible ; aussi quand on opère sur des courants fort intenses, on réduit la sensibilité en adaptant au-dessus de l'aiguille aimantée un aimant directeur D, formant un champ magnétique d'intensité connue, et dont la valeur M sera ajoutée à la composante horizontale du magnétisme terrestre dans l'équation précédente. La formule deviendra donc

$$I = \frac{(H + M)\ d}{\alpha}.$$

L'intensité de cet aimant est susceptible de diminuer ; mais il est facile d'en vérifier la valeur.

L'ampère-mètre de Thomson a l'avantage, comme on le voit, de donner rapidement l'intensité d'un courant avec une grande exactitude ; et sa sensibilité varie dans des limites considérables, de façon qu'on peut mesurer les courants très faibles aussi bien que ceux qui présentent une grande intensité.

MESURE DES DIFFÉRENCES DE POTENTIEL

§ 571. **Volt-mètres.** — Les volt-mètres reposent sur les mêmes principes que les ampère-mètres ; ils en diffèrent seulement en ce que le multiplicateur est fait d'un fil long et fin, au lieu d'être en fil gros et court. Ils sont étalonnés de façon que si un courant les parcourt, le nombre marqué par l'index indique la différence de potentiel en *volts* aux bornes du galvanomètre.

§ 572. **Volt-mètre de MM. Deprez et Carpentier.** — Dans cet appareil, qui ne diffère pas autrement de l'ampère-mètre décrit § 568, la bobine est formée d'un fil de cuivre long et fin ayant environ 2.000 ohms de résistance.

La graduation, tracée d'une manière empirique pour chaque instrument, est marquée en volts. Cet appareil doit être placé en dérivation entre les points dont on cherche la différence de potentiel.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 573. **Volt-mètre Thomson**. — Cet instrument diffère de l'ampère-mètre de Thomson, décrit § 570, seulement par l'anneau, qui est formé d'un fil très fin dont la résistance est comprise entre 6.000 et 10.000 ohms.

§ 574. **Volt-mètre de Deprez à arête de poisson**. — L'ampère-mètre de Deprez, que nous avons décrit § 569, peut servir à deux usages, à mesurer les intensités des courants et les différences de potentiel. A cet effet, il porte, comme nous l'avons dit, deux multiplicateurs : l'un à gros fil, aboutissant aux bornes D, D′ (fig. 95) ; et le second, à fil très fin, rattaché aux bornes C, C′. Voici ce qui résulte des observations de M. Deprez :

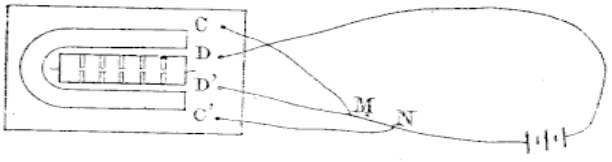


Fig. 95.

« Mettons les bornes D, D′ en communication avec une source quelconque, et notons la division devant laquelle s'arrête l'aiguille ; supprimons ensuite cette communication, l'aiguille revient au zéro. Lançons alors un courant emprunté à la même source ou à une source différente dans le circuit très résistant terminé aux bornes C, C′ ; l'aiguille se fixe dans une position différente, qui peut même indiquer que le courant a un sens inverse à celui qu'il avait dans le premier cas. Notons encore la division devant laquelle s'arrête l'aiguille, en tenant compte de son signe ; et faisons agir simultanément les deux courants. Nous constaterons alors que le nombre correspondant à la division devant laquelle s'arrête l'aiguille est la somme algébrique des nombres notés dans les deux expériences précédentes. »

Pour se servir de l'appareil, il suffit donc de mettre les bornes D et D′ directement dans le circuit ; on obtient ainsi le nombre d'ampères du courant. Puis, sans rien changer, on rattache les bornes C, C′ aux points M, N dont on cherche la différence de potentiel ; le nombre de divisions dont la déviation augmente ou diminue indique le nombre de volts cherché.

§ 575. **Observations sur les ampère-mètres et les volt-mètres**. — On doit toujours intercaler les ampère-mètres dans le circuit même à étudier, afin que l'appareil soit traversé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

par la totalité du courant. Au contraire, le volt-mètre se place sur une dérivation attachée aux points dont on cherche la différence de potentiel.

576. **Shunts.** — Dans certaines expériences de mesure, les courants sont trop forts pour le galvanomètre que l'on a à sa disposition, et la déviation de l'aiguille est trop grande. Par exemple, si l'on emploie un galvanomètre Thomson à réflexion, l'image lumineuse peut être projetée en dehors de l'échelle graduée.

Pour diminuer l'intensité du courant qui passe dans le galvanomètre G, on établit une dérivation ou *shunt* entre les deux bornes de l'appareil (fig. 96) ; et si l'on connait la résistance du fil galvanométrique, on peut calculer celle du shunt de manière à ne laisser passer dans le galvanomètre qu'une fraction de courant déterminée.

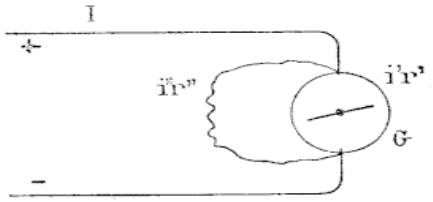


Fig. 96.

Nous avons vu, à propos des courants dérivés § 541, que I étant l'intensité du courant principal et i' l'intensité du courant passant dans le galvanomètre, r' et r'' désignant les résistances respectives du galvanomètre et du shunt, on a

$$\frac{i'}{I} = \frac{r''}{r' + r''}.$$

Si donc nous voulons que l'intensité du courant passant dans le galvanomètre soit la $n^{ème}$ partie du courant principal, il faudra qu'on ait

$$\frac{r''}{r' + r''} = \frac{1}{n},$$

$$r'' = \frac{r'}{n - 1}.$$

La résistance r'' du shunt devra donc être la $(n - 1)^{ème}$ partie de la résistance du galvanomètre.

En pratique, on s'arrange pour que le courant dans le galvanomètre soit $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1000}$ du courant principal. Dans ce cas, la résistance du shunt sera $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{99}$, $\frac{1}{999}$ de celle du galvanomètre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les modèles de shunts sont très variés. La figure 97 en représente une disposition primitive.

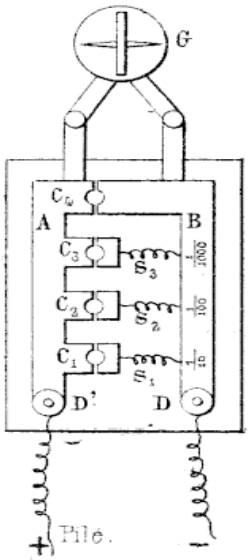


Fig. 97.

Dans une boîte en bois rectangulaire sont logées parallèlement trois bobines S_1, S_2, S_3, dont les résistances sont $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{99}$, $\frac{1}{999}$ de celle du galvanomètre G. Sur les côtés de la boite sont fixées deux bandes métalliques épaisses A et B. L'une des extrémités des bobines est fixée à la bande B; l'autre extrémité se rattache à l'un des trois blocs C_1, C_2, C_3, qui peuvent être mis en communication avec A au moyen de chevilles. Les pôles de la pile sont fixés aux bornes D, D'; et les bornes du galvanomètre sont rattachées aux bandes A et B par des lames métalliques.

Si aucune cheville n'est en place, tout le courant passe dans le galvanomètre.

Si la cheville C_1 est, en place, il passe dans le galvanomètre $\frac{1}{10}$ du courant principal, etc., etc..

Il ne passera rien du tout dans le galvanomètre si l'on met la cheville C_4; car les lames A et B étant très épaisses, la résistance de la dérivation peut être considérée comme nulle, et tout le courant s'écoule par ces lames.

APPAREILS DIVERS

§ 577. **Caisses de résistances.** — Pour introduire dans

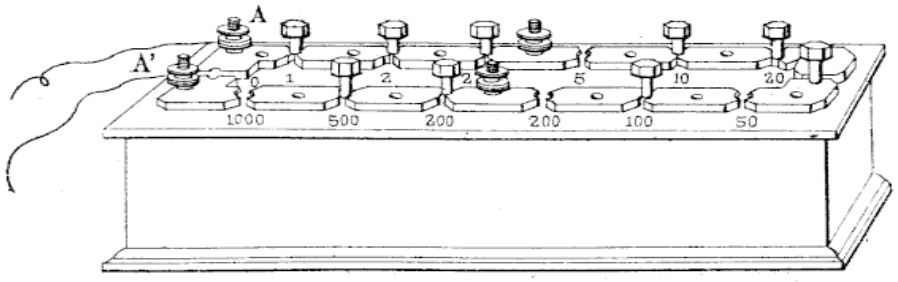


Fig. 98.

un circuit une résistance voulue, on fait généralement usage de boites ou caisses de résistances (fig. 98 et 99), formées par la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

réunion d'une série de bobines présentant des résistances variables. La fig. 99 montre comment les extrémités de chaque bobine

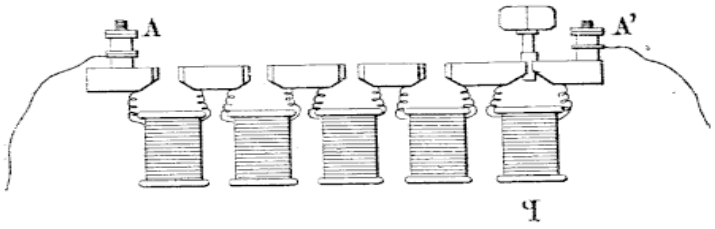


Fig. 99.

sont reliées à deux blocs consécutifs placés sur le couvercle. Les blocs peuvent être réunis entre eux par des chevilles. Les extrémités du circuit sont rattachées aux deux blocs extrêmes A et A'. Cela étant, on met d'abord en place toutes les chevilles, de manière à relier ensemble tous les blocs et à avoir un circuit continu d'une borne à l'autre. Quand on voudra ensuite introduire dans le circuit la résistance d'une des bobines de la caisse, on enlèvera la cheville réunissant les deux blocs entre lesquels est inscrite la valeur de cette résistance. Ici, il importe de le remarquer, on *shunte* en enlevant des chevilles, tandis qu'avec l'appareil fig. 97, c'est en en mettant.

Chaque bobine est étalonnée, et sa résistance inscrite sur le couvercle en face de l'intervalle qui sépare les deux blocs communiquant avec elle.

§ 578. **Condensateur**. — Le condensateur est formé de lames d'étain superposées et isolées l'une de l'autre par des feuilles de papier paraffiné ou de mica. Les lames d'étain impaires sont réunies à une borne, et constituent une des armatures du condensateur. Les lames d'étain paires sont réunies à une autre borne, et forment l'autre armature. Le tout est enfermé dans une boite. La dimension et le nombre des feuilles d'étain sont calculés suivant la capacité que l'on veut donner au condensateur.

Les deux bornes B et B' (fig. 100), communiquant avec les armatures, peuvent être accouplées au moyen d'une cheville C. Elles sont toujours réunies quand l'appareil n'est pas en service, afin de décharger le condensateur.

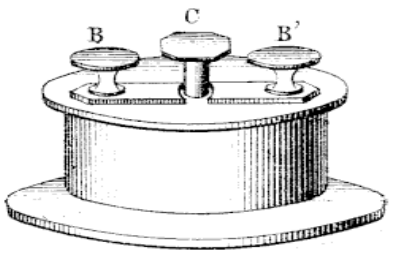


Fig. 100.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si, la cheville C étant enlevée, nous mettons les armatures B, B′ en communication avec les pôles d'une pile, il se produit un courant qui cesse presque aussitôt, comme on peut le constater avec un galvanomètre. C'est que chaque armature prend le potentiel que possède le pôle de la pile qui lui est attaché, et l'équilibre s'établit. C'est la période de *charge*. Si maintenant on supprime la pile et qu'on ferme le circuit dans lequel celle-ci était intercalée, les deux armatures possédant les mêmes potentiels que les pôles, il se produit un courant égal au premier, mais de sens contraire. C'est le courant de *décharge*.

§ 579. **Clef de décharge.** — Pour la charge et la décharge du condensateur, on emploie une clef disposée comme l'indique la figure 101. La pièce A est un pivot auquel est fixé à un levier flexible AB, passant entre deux contacts C, D; ceux-ci sont reliés aux bornes M, N. Deux touches munies, à angle droit, de crochets en ébonite, et marquées *isolement* ou *décharge*, sont à la portée de l'extrémité B du levier.

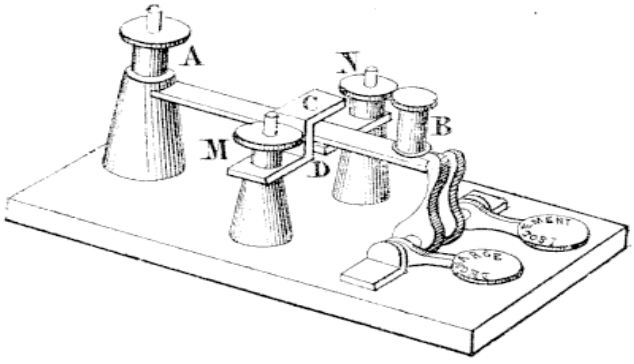


Fig. 101.

Le crochet *décharge* est placé un peu plus haut que l'autre. Le pivot A est relié à l'armature du condensateur; la borne M au galvanomètre G; N à la pile P, comme l'indique la figure 102.

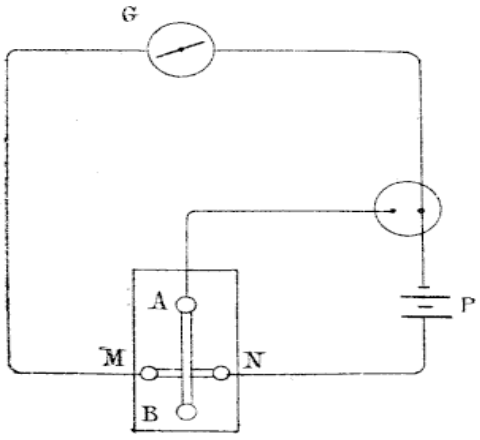


Fig. 102.

En appuyant sur B (fig. 101), jusqu'à ce que le bout du levier soit en prise avec le crochet inférieur, on met le condensateur en communication avec la pile par l'intermédiaire du contact D; le condensateur se charge.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quand on appuie sur la touche *isolement*, le levier lâché par le crochet inférieur vient en prise avec le crochet supérieur ; le levier ne communique avec aucun contact, et le condensateur est isolé.

Si l'on presse sur la touche *décharge*, le levier abandonné par le crochet supérieur vient buter sur le contact C ; le condensateur communique alors avec le galvanomètre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

6E PIE. — CHAPITRE III

MESURAGES ÉLECTRIQUES ET ESSAIS (*)

MESURE DE LA RÉSISTANCE D'UN CONDUCTEUR

§ 580. **Pont de Wheatstone.** — Le pont de Wheatstone se compose théoriquement d'un losange ABCD (fig. 103), dont les quatre sommets sont pourvus de bornes, auxquelles on attache les fils conducteurs, et dont les quatre côtés sont formés de lames métalliques. Aux bornes A et C on relie les pôles d'une pile P, et aux bornes B, D un galvanomètre G. Le courant de la pile se partage entre les deux dérivations ABC, ADC.

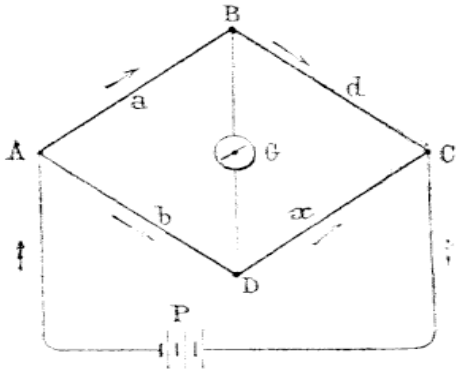


Fig. 103.

Si aux bornes B et D il y a le même potentiel, aucun courant ne passera dans la ligne BD.

Soient A et C les potentiels en A et C, et B le potentiel supposé commun aux points B et D. Appelons a, b, x, d les résistances de chaque portion du circuit. L'intensité du courant étant la même en chaque point du circuit ABC, on a d'après la loi de Ohm

$$\frac{A - B}{a} = \frac{B - C}{d},$$

(*) Pour ce chapitre et pour toutes les questions concernant les mesurages, nous avons emprunté de nombreux documents aux cours d'électricité successivement professés à l'École des défenses sous-marines par divers officiers de vaisseaux, et en dernier lieu, avec une grande compétence, par M. Leblond, agrégé de l'Université.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On a de même dans le circuit ADC

$$\frac{A - B}{b} = \frac{B - C}{x},$$

d'où

$$\frac{a}{d} = \frac{b}{x}.$$

Quand cette égalité sera satisfaite, il ne passera pas de courant dans le galvanomètre.

Supposons maintenant que x soit la résistance inconnue, on se donne les résistances a et b ; et l'on fait varier d jusqu'à ce qu'on obtienne le même potentiel en B et D. A ce moment, le galvanomètre se trouvera à 0, et x sera déterminé par

$$x = \frac{bd}{a}.$$

§ 581. **Forme pratique du pont.** — Le pont se compose, en pratique, d'une caisse de résistances (fig. 104) analogue à celle que nous avons décrite § 577. Les bobines sont placées sur plusieurs rangs. Les résistances fixes se trouvent entre les bornes A, B et entre les bornes A, D ; la résistance variable est entre les bornes F, C. La pile est attachée aux points A, C ; et le galvanomètre aux points B, D avec interposition de clef de manœuvre. En cas de besoin un shunt est intercalé sur le circuit du galvanomètre. Ordinairement, les côtés AB et AD contiennent chacun des bobines de 10, 100, 1000 ohms ; et en FC se trouvent des résistances comprises entre 1 et 5000 ohms. Aux bornes C, D se rattache la résistance inconnue x.

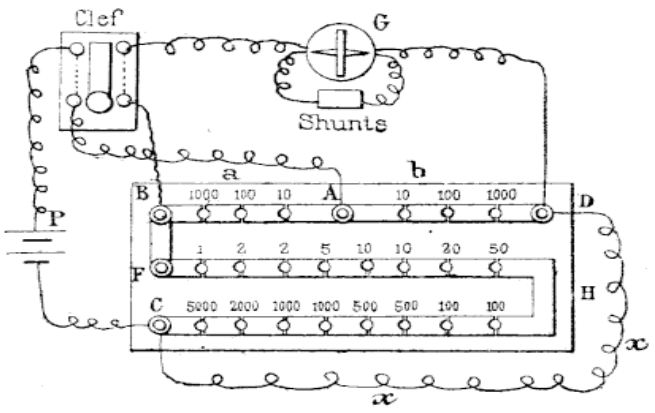


Fig. 104.

Pour opérer, on commence par déboucher sur AB et AD un certain nombre de trous, suivant les résistances fixes a et b que l'on se donne *a priori*. Puis, sans rien déboucher sur FC, on imprime un coup de clef rapide. On note le sens de la déviation du galvano-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mètre, qui correspond à une résistance trop faible en FC. On débouche sur FC jusqu'à ce qu'on obtienne une déviation inverse à la première, ce qui indique un excès de résistance en FC; on opère ensuite par une série de tâtonnements, jusqu'à ce qu'on ait deux déviations en sens contraire pour deux valeurs de la résistance en FC ne différant que de 1 ohm. L'erreur commise sur la valeur de la résistance inconnue est alors plus petite que $\frac{b}{a}$. Si, par exemple, $b = 10$ et $a = 1000$, l'erreur est moindre que 0,01 ohm.

§ 582. **Pont de Wheatstone établi sans appareil spécial.** — Quand on n'a pas à sa disposition un pont de Wheatstone, on peut le remplacer par des boîtes de résistances. La figure 105 montre l'installation avec une boîte R de résistances variables et deux bobines a, b à résistance fixe. On opère, du reste, comme avec le pont de Wheatstone.

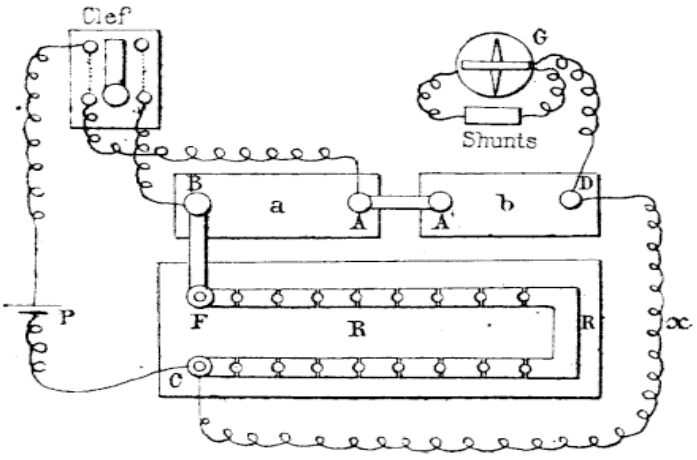


Fig. 105.

Quand on ne possède qu'une caisse de résistances variables, on peut encore mesurer la résistance d'un conducteur par la méthode dite de *substitution*. Elle est moins parfaite que celle du pont de Wheatstone, et on ne doit l'employer que quand il est impossible de faire autrement. Voici en quoi elle consiste :

On forme un circuit comprenant une pile, une caisse de résistances variables, un galvanomètre et le conducteur dont on veut mesurer la résistance. Le galvanomètre donne une déviation δ, par exemple. On retire alors du circuit la résistance à mesurer, et l'on augmente la résistance variable jusqu'à rétablir la déviation δ. Soient R′ l'augmentation de la résistance variable, et x la résistance à mesurer, on a

$$x = R'.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On installe le circuit, comme l'indique la figure 106.
Il est commode d'employer un commutateur tel que C, à deux

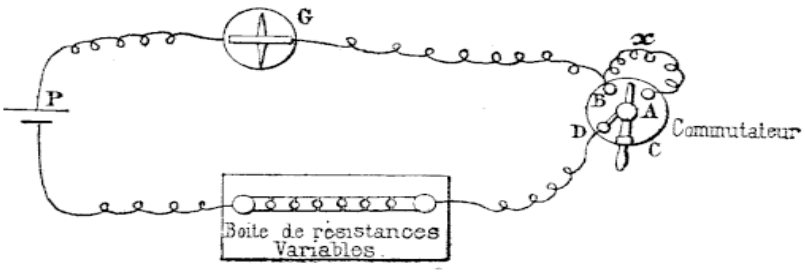


Fig. 106.

directions, qui permet, au moyen d'une manette, de mettre en communication la borne D soit avec A, soit avec B. La résistance à mesurer est fixée aux bornes A et B.

Si l'on met en communication les bornes D et A, la résistance x est introduite dans le circuit. Si l'on relie les bornes D et B, elle en est retirée.

§ 583. **Pont de Wheatstone à fil de platine.** — La figure 107 montre une autre disposition pratique du pont de

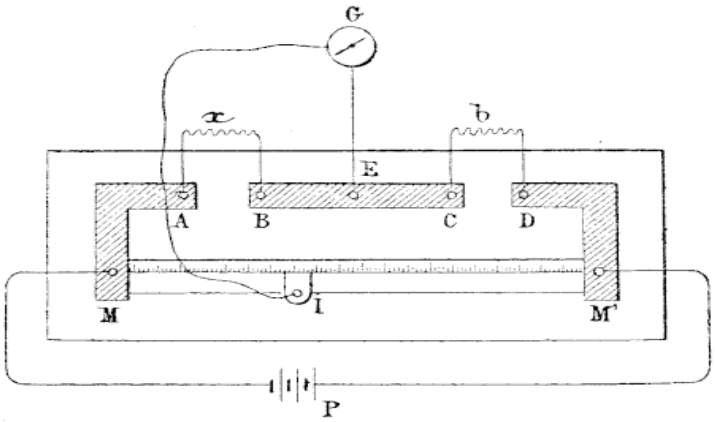


Fig. 107.

Wheatstone. Un fil de platine de 1^{m} de longueur et de 1,5 millimètre de diamètre est tendu entre les deux bornes M, M′ fixées à une bande de cuivre. Le long du fil se trouve une échelle divisée en millimètres, sur laquelle se meut un curseur I. La bande de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cuivre est interrompue en A,B et C,D ; et en chacun de ces points se trouve une borne. Voici comment on opère :

Entre les bornes C, D on met une résistance fixe b ; entre les bornes A, B la résistance cherchée x. Le galvanomètre G se rattache à la borne E et au curseur I ; et une pile P est reliée aux bornes M, M′. On déplace le curseur jusqu'à ce que le galvanomètre ne dévie plus. Soit n la division devant laquelle s'arrête le curseur, on a

$$\frac{x}{b} = \frac{n}{1.000 - n}.$$

Si l'on veut trouver la valeur relative de deux résistances, il suffit de les attacher en AB et CD, et l'on a immédiatement le rapport cherché.

MESURE DE LA RÉSISTANCE INTÉRIEURE D'UNE PILE

§ 584. **Théorie**. — La résistance d'une pile varie pour chaque système avec les liquides qui composent les éléments, leur degré de saturation, leur température. Nous reviendrons sur ce sujet dans le chapitre consacré aux piles.

Pour calculer cette résistance on s'appuie sur la loi de Ohm. Soient I l'intensité du courant, E la force électromotrice de la pile, r sa résistance intérieure et R la résistance du circuit extérieur, on a

$$I = \frac{E}{R + r};$$

d'où

$$r = \frac{E - IR}{I}.$$

Si l'on connaît E, I et R, on déduira facilement de cette formule la résistance r. La méthode consistera donc à former un circuit comprenant :

1° La pile étudiée ;

2° Un galvanomètre de résistance connue ;

3° Des conducteurs dont on a déterminé d'avance la résistance, des caisses de résistances, par exemple.

§ 585. **Choix du galvanomètre**. — Le galvanomètre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

doit servir à mesurer l'intensité du courant. Il faudra donc connaître la constante de cet appareil. Il est inutile d'employer un instrument très sensible. Il vaut mieux rechercher un galvanomètre dont les oscillations s'arrêtent rapidement. Il importe, en effet, que la lecture de la déviation se fasse le plus vite possible pour éviter la polarisation de la pile (§ 615).

Une autre considération conduit encore à recommander l'emploi des galvanomètres de cette espèce. Avec des appareils très sensibles, il faudrait le plus souvent introduire dans le circuit des résistances fort grandes pour maintenir la déviation de l'aiguille dans des limites convenables. La résistance intérieure r de la pile deviendrait alors négligeable vis-à-vis de la résistance extérieure, et une faible erreur dans la mesure de l'intensité I se traduirait par une erreur considérable dans le calcul de r.

L'emploi des ampère-mètres est ici tout indiqué. On les placera ordinairement *en court circuit*, c'est-à-dire qu'on mettra leurs bornes en communication avec celles de la pile par des conducteurs aussi peu résistants que possible.

La résistance de l'ampère-mètre étant, en général, très faible et négligeable devant la résistance de la pile, la formule de Ohm se simplifie et devient

$$I = \frac{E}{r};$$

d'où

$$r = \frac{E}{I}.$$

§ 586. **Méthode de la dérivation ou de Thomson.** — On forme un circuit (fig. 108) comprenant la pile P, une boîte de résistances R, un galvanomètre G et un interrupteur i. Un second circuit comprend la pile P, une boîte de résistances S graduée en ohms et un interrupteur i_1.

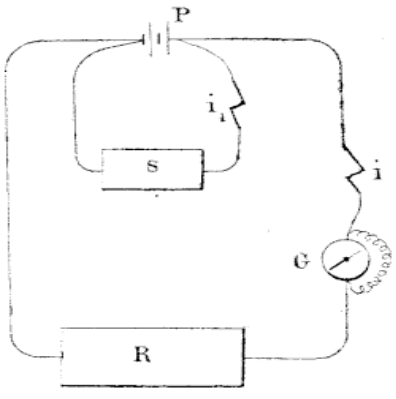


Fig. 108.

Voici les opérations :

1° On donne à la boîte R une résistance R_1 ; on ferme l'interrupteur i, et l'on note la déviation δ du galvanomètre ;

2° On débouche dans la boîte en

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dérivation S une résistance S_1 ; et l'on cherche quelle résistance R_2 il faut déboucher en R pour obtenir de nouveau la déviation δ quand on ferme les deux interrupteurs i et i_1.

La première expérience donne, en appelant x la résistance intérieure de la pile, I l'intensité du courant, g la résistance du galvanomètre,

$$I = \frac{E}{x + g + R_1}.$$

Dans la seconde expérience, l'intensité du courant total est, d'après la loi des courants dérivés,

$$\frac{E}{x + \frac{S_1(g + R_2)}{S_1 + g + R_2}} = \frac{E(S_1 + g + R_2)}{x(S_1 + g + R_2) + S_1(g + R_2)}.$$

Pour avoir la portion I_1 qui passe dans le galvanomètre, il faut multiplier l'intensité du courant total par le rapport

$$\frac{S_1}{S_1 + g + R_2};$$

d'où

$$I_1 = \frac{E(S_1 + g + R_2)}{x(S_1 + g + R_2) + S_1(g + R_2)} \frac{S_1}{S_1 + g + R_2},$$

$$I_1 = \frac{ES_1}{x(S_1 + g + R_2) + S_1(g + R_2)}.$$

Or, les deux intensités I et I_1 sont égales, puisque la déviation du galvanomètre est la même dans les deux cas. Donc

$$\frac{ES_1}{x(S_1 + g + R_2) + S_1(g + R_2)} = \frac{E}{x + g + R_1}.$$

On tire de là

$$x = \frac{S_1(R_1 - R_2)}{g + R_2}.$$

L'expérience sera disposée comme l'indique la figure 108. Le galvanomètre doit être sensible. Il importe aussi que les oscillations s'arrêtent rapidement.

Quand on emploie cette méthode, il est nécessaire d'opérer très vite pour éviter la polarisation de la pile. La résistance S_1 ne doit pas être choisie trop petite ; car la pile étant fermée sur une faible résistance se polariserait.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 587. **Méthode de Munro.** — Appelons P (fig. 109) la pile dont on cherche la résistance x, C un condensateur, G un galvanomètre, S un shunt, ou dérivation faite avec une résistance quelconque, mais connue. Soient i_1 et i_2 des interrupteurs. On commence par fermer la clef i_1, i_2 restant ouverte ; le condensateur se charge d'électricité, et le courant produit dans le galvanomètre une déviation d. Soient Q la quantité d'électricité mise en mouvement, E la force électromotrice de la pile, et G la résistance du galvanomètre, on a

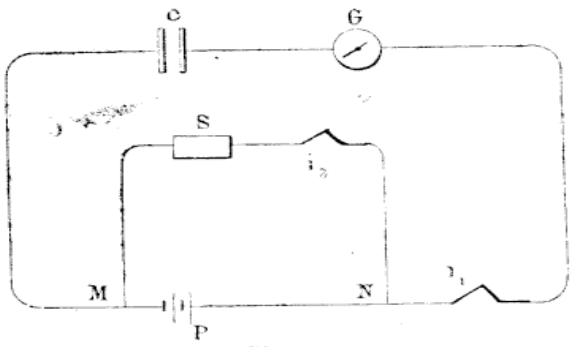


Fig. 109.

$$Q = \frac{E}{G}; \tag{1}$$

et en admettant que les déviations du galvanomètre sont proportionnelles aux quantités d'électricité qui traversent l'appareil

$$d = \frac{E}{G};$$

Pressons maintenant sur la clef i_2, la clef i_1 restant fermée. Nous obtiendrons dans le galvanomètre une déviation inverse d'; elle est due à ce que la dérivation S a diminué la différence de potentiel aux pôles de la pile, tandis que les lames du condensateur ont conservé leur premier potentiel.

Soit P la nouvelle différence de potentiel aux bornes de la pile, on a

$$d' = \frac{E - P}{G}. \tag{2}$$

Du reste, nous avons la proportion

$$\frac{P}{E} = \frac{S}{x + S}. \tag{3}$$

Car, dans le circuit MSNP, les différences de potentiel sont proportionnelles aux résistances. Or la force électromotrice E correspond au circuit total comprenant la pile de résistance x et le shunt S ; et la différence de potentiel P correspond au shunt seul.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En éliminant E et P entre les équations (1), (2), (3), on trouve

$$x = \frac{d'S}{d - d'}.$$

La méthode de Munro donne des indications très exactes ; et elle présente l'avantage de ne pas polariser la pile que l'on étudie, puisqu'elle peut être considérée comme en circuit ouvert. Elle est donc applicable à toutes les piles.

RÉSISTANCE D'UN GALVANOMÈTRE

§ 588. **Méthode de l'égale déviation**. — Le galvanomètre G (fig. 110) est placé en circuit avec une pile P de résistance négligeable, et une boîte de résistances R. Un shunt ayant une résistance S est établi sur les bornes du galvanomètre. On débouche une résistance R′, et l'on a une certaine déviation. Puis on supprime le shunt ; la déviation s'accroît, et on la ramène à sa première valeur en augmentant la résistance dans la boîte. Soient R″ cette nouvelle résistance, E la force électromotrice de la pile et G la résistance du galvanomètre.

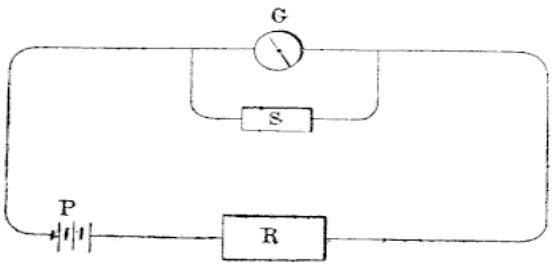


Fig. 110.

L'intensité I dans le galvanomètre est, en appliquant le même calcul qu'au § 586,

$$I = \frac{ES}{R'(S + G) + GS}.$$

Lorsque le shunt est supprimé, l'intensité devient

$$I_1 = \frac{E}{R'' + G}.$$

Or $I = I_1$, puisque les déviations sont égales ; donc

$$\frac{ES}{R'(S + G) + GS} = \frac{E}{R'' + G}, \quad G = S\,\frac{R'' - R'}{R'}.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cette méthode exige que la résistance de la pile soit assez faible pour être négligée ; mais elle est très simple.

§ 589. **Mesure des constantes des galvanomètres.** — On appelle *constante* d'un galvanomètre le coefficient par lequel il faut multiplier sa déviation pour avoir en ampères l'intensité du courant qui le traverse. C'est aussi l'intensité en ampères du courant donnant une déviation d'un degré.

Il est utile de pouvoir mesurer cette constante afin de vérifier les indications de l'instrument. On opère de la manière suivante :

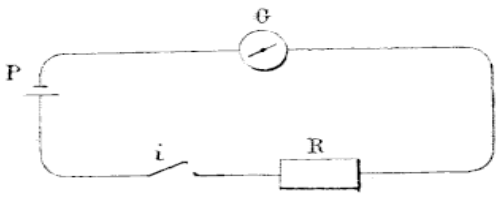


Fig. 111.

On forme un circuit (fig. 111) comprenant le galvanomètre étudié G, une caisse de résistances R, un interrupteur i et une pile P, dont on connaît exactement la force électromotrice, telle que la pile-étalon ou celle de Daniell.

On débouche en R une résistance R′ telle que, l'interrupteur i étant fermé, on obtienne une déviation convenable du galvanomètre, c'est-à-dire inférieure à la déviation pour laquelle les intensités cessent d'être proportionnelles aux déviations.

Soient K la constante cherchée, g la résistance du galvanomètre, α sa déviation (1), r la résistance de la pile, E sa force électromotrice ; on a :

$$I = K\alpha = \frac{E}{g + r + R'}, \quad K = \frac{E}{(g + r + R')\alpha}.$$

La valeur de K sera obtenue en ampères si l'on connaît la valeur de E en volts et la résistance en ohms.

Une autre méthode consiste à comparer le galvanomètre étudié à un autre galvanomètre de constante connue. Les deux appareils sont placés dans le même circuit, et on lit à la fois les indications qu'ils fournissent (fig. 112).

Cette méthode n'est applicable que si les deux galvanomètres

(1) Dans les galvanomètres, les intensités des courants ne sont proportionnelles aux étendues mêmes des déviations, qu'autant que celles-ci restent comprises entre certaines limites propres à chaque espèce d'instrument. Au delà de ces limites, les divisions indicatrices de variations égales d'intensité de courant cessent d'être de même grandeur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ont à peu près la même sensibilité ; dans le cas contraire, on place le moins sensible G dans le circuit de la pile, et l'autre G′ en dérivation entre deux points du circuit comprenant une résistance R′ connue à l'avance. En outre, une caisse de résistances R est intercalée sur le circuit principal ; et l'on fait varier sa résistance ainsi que R′ de façon que les courants circulant dans les deux galvanomètres aient des intensités en rapport avec la sensibilité de ces appareils.

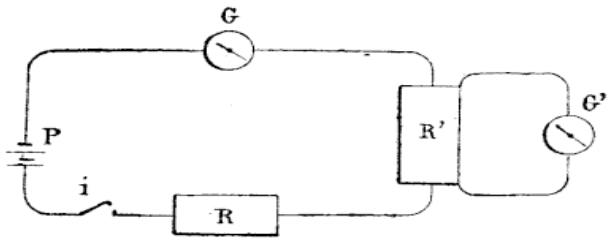


Fig. 112.

Soient i l'intensité du courant dérivé circulant dans le galvanomètre étudié G′, g' la résistance de ce galvanomètre, I l'intensité du courant principal passant dans le galvanomètre étalon G, R′ la résistance intercalée dans la dérivation, enfin i' le courant traversant cette résistance. En considérant les deux portions de circuits aboutissant aux extrémités de la dérivation, on a d'après le § 540 :

$$\frac{i}{i'} = \frac{R'}{g'}, \quad \frac{i}{i+i'} = \frac{i}{I} = \frac{R'}{R'+g'}.$$

Soient K la constante cherchée du galvanomètre G′ et β sa déviation ; A la constante du galvanomètre G et α sa déviation, il vient :

$$\frac{K\beta}{A\alpha} = \frac{R'}{R'+g'}, \quad K = \frac{R'}{R'+g'} \times \frac{A\alpha}{\beta}.$$

MESURE D'UNE DIFFÉRENCE DE POTENTIEL

§ 590. **Méthode du condensateur.** — Pour mesurer la différence de potentiel E′ entre deux points, on commence par mettre les deux pôles d'une pile-étalon en communication avec les armatures d'un condensateur. Celui-ci prend une charge d'électricité proportionnelle à la force électromotrice E de cette pile (§ 544). On le décharge alors dans un galvanomètre, et l'on obtient une déviation d. On fait la même opération avec les deux points

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dont on cherche la différence de potentiel, et l'on a une déviation d'.

Si les déviations étaient rigoureusement proportionnelles aux intensités, on pourrait poser

$$\frac{E}{E'} = \frac{d}{d'}.$$

Mais il n'en est pas ainsi, et il vaut mieux s'arranger de manière à produire une même déviation pour les deux décharges.

La disposition de l'expérience est indiquée figure 113. C représente le condensateur, P la pile, K la clef de décharge que nous avons décrite § 579. G est un galvanomètre Thomson avec shunt.

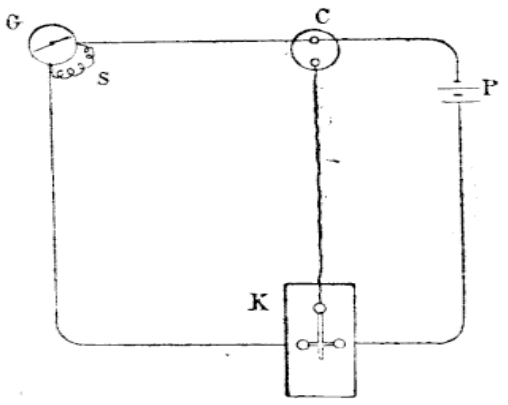


Fig. 113.

Après avoir chargé le condensateur au moyen de la pile-étalon, on le décharge dans le galvanomètre avec une résistance S dans le shunt. On remplace ensuite les pôles de la pile-étalon par les points que l'on étudie ; on recharge le condensateur, et on le décharge dans le galvanomètre en prenant une résistance s telle que les deux déviations soient égales.

Soient I la quantité d'électricité passant dans le galvanomètre, i celle qui traverse le shunt avec la pile-étalon, G la résistance du galvanomètre.

Quand on opère sur la pile-étalon le courant se divise entre le galvanomètre et son shunt en raison inverse des résistances ; on a donc

$$\frac{i}{I} = \frac{G}{S},$$

d'où

$$\frac{I + i}{I} = \frac{G + S}{S}.$$

Dans la seconde phase de l'opération, on obtient de même ; en appelant I′ l'intensité du courant passant par le galvanomètre et i' celle qui traverse la résistance s du shunt :

$$\frac{I' + i'}{I'} = \frac{G + s}{s}.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Or $(I+i)$ et $(I'+i')$ sont les quantités totales d'électricité mises en mouvement :

$$\frac{I+i}{I'+i'} = \frac{E}{E'};$$

En remarquant que $I = I'$, puisque les déviations du galvanomètre sont égales dans les deux expériences, on arrive à

$$\frac{E}{E'} = \frac{\frac{G+S}{S}}{\frac{G+s}{s}}.$$

Cette méthode est susceptible d'une grande exactitude.

§ 591. **Méthode des galvanomètres étalonnés.** — Quand on désire des résultats moins précis et une plus grande rapidité d'exécution, on se sert de galvanomètres étalonnés tels que le volt-mètre de Deprez, celui de Deprez et Carpentier, ou le volt-mètre à arête de poisson. Ils ont l'avantage de donner la différence de potentiel par une simple lecture.

Cette méthode repose sur le principe suivant :

Si en deux points M, N (fig. 114) d'un circuit on dispose une dérivation, on modifie la résistance existant entre les points M, N ; et la différence de potentiel se trouve changée aussi.

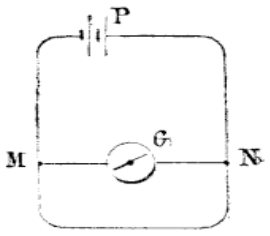


Fig. 114.

Mais si la résistance de la dérivation est très forte, elle modifie le premier circuit d'une manière insensible, et la différence de potentiel entre M et N varie très peu. En outre, la différence de potentiel entre deux points d'un conducteur est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse. Si donc on établit entre M et N un galvanomètre G à très grande résistance, ses déviations, qui indiquent les intensités, pourront donner les différences de potentiel.

Il suffit donc de mettre ce galvanomètre en dérivation aux points désignés ; la graduation en est tracée d'une manière empirique, et les degrés de l'instrument indiquent les différences du potentiel.

MESURE DES FORCES ÉLECTROMOTRICES DES PILES

§ 592. **Méthode de Ohm.** — Constituons (fig. 115) un circuit comprenant :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1° Une pile (§ 614) P dont nous cherchons la force électromotrice ;
2° Une caisse de résistances R;
3° Un galvanomètre G ;
4° Un interrupteur M.

Voici les opérations :

1° Le galvanomètre ayant été réglé, on débouche dans la boite une résistance R′ telle que, l'interrupteur étant fermé, la déviation du galvanomètre soit δ.

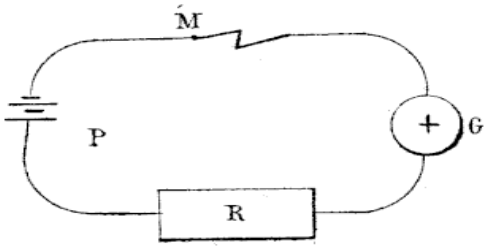


Fig. 115.

2° On diminue la résistance R′, on ferme l'interrupteur M, et l'on note la nouvelle déviation δ′, plus grande que δ ; la résistance étant R″.

Appelons r la résistance intérieure de la pile, E sa force électromotrice, g la résistance du galvanomètre et des fils de communication. Soient I et I′ les intensités du courant correspondant aux déviations δ et δ′ du galvanomètre, nous aurons :

$$I = \frac{E}{R' + r + g},$$
$$I' = \frac{E}{R'' + r + g}.$$

De ces deux relations on tire

$$E = \frac{I'(R' - R'')}{I' - I}.$$

Soient K la constante du galvanomètre, δ et δ′ les déviations ; on a :

$$I = K\delta, \quad I' = K\delta',$$

d'où

$$E = \frac{K\delta\delta'(R' - R'')}{\delta' - \delta}. \tag{1}$$

Si l'on ne connait pas la constante K, on la détermine préalablement, ou, ce qui revient au même, on recommence l'expérience avec une *pile-étalon* dont on connaît la force électromotrice. On obtiendra les déviations δ_1, δ'_1 pour des résistances R_1, R'_1, et en appelant E_1 la force électromotrice de l'étalon, on aura :

$$E_1 = \frac{K\delta_1\delta'_1(R_1 - R'_1)}{\delta'_1 - \delta_1}. \tag{2}$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

De (1) et de (2), on tirera

$$E = E_1 \frac{\delta\delta'}{\delta_1\delta'_1} \times \frac{\delta'_1 - \delta_1}{\delta' - \delta} \times \frac{R' - R''}{R_1 - R'_1}.$$

Il faut éviter la polarisation. Aussi les fermetures du circuit seront-elles aussi courtes que possible, ce qui exige un galvanomètre prenant rapidement sa position d'équilibre. Ensuite on exagèrera autant que possible la résistance R, ce qui nécessite l'emploi d'un galvanomètre sensible.

§ 593. **Méthode de Fechner.** — Dans la méthode de Ohm, que nous venons de décrire, si l'on se sert d'un galvanomètre fort sensible, comme celui de Thomson, la résistance R devra être très grande, et la résistance r de la pile sera négligeable vis-à-vis de cette résistance R augmentée de celle du galvanomètre g, qui est également considérable. L'installation étant la même que précédemment, nous aurons pour une résistance R débouchée dans la caisse :

$$I = \frac{E}{R + g}.$$

En appelant K la constante du galvanomètre et δ la déviation observée, on a

$$K\delta = \frac{E}{R + g}. \tag{1}$$

La force électromotrice sera donc immédiatement donnée en volts si l'on connait en ampères la constante du galvanomètre et en ohms la somme des résistances $R + g$.

Si l'on ignore la constante du galvanomètre, on la mesure, ce qui revient à remplacer dans le circuit la pile dont on cherche la force électromotrice par une pile-étalon.

Soient E_1 la force électromotrice connue de la pile-étalon, δ_1 la déviation du galvanomètre pour une résistance R_1 débouchée dans la caisse, on aura

$$K\delta_1 = \frac{E_1}{R_1 + g}. \tag{2}$$

On peut déduire la valeur de K en ampères de cette formule, ou élimiter K entre les relations (1) et (2), ce qui donne

$$E = E_1 \times \frac{\delta}{\delta_1} \times \frac{R + g}{R_1 + g}.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 594. **Remarques.** — 1° On s'arrangera, autant que possible, pour que les déviations δ et δ_1 soient peu différentes. On sera ainsi assuré de la proportionnalité des déviations aux intensités, au moins dans l'intervalle des déviations δ et δ_1 ; l'erreur absolue commise dans la lecture des deux déviations deviendra alors une erreur relative de même ordre. La résistance R_1 sera choisie en conséquence.

2° Si la caisse de résistances dont on dispose n'est pas suffisante pour ramener la déviation du galvanomètre dans des limites convenables (c'est ce qui arrive quand la force électromotrice à mesurer est grande), on shuntera le galvanomètre.

3° Si la force électromotrice à mesurer E est peu différente de la force électromotrice-étalon E_1, on pourra prendre égales les résistances R et R_1 ce qui donne

$$\frac{E}{E_1} = \frac{\delta}{\delta_1}.$$

Le rapport des forces électromotrices est égal alors au rapport des déviations obtenues dans le même circuit.

§ 595. **Méthode de la grande résistance.** — Dans un circuit d'une grande résistance (10.000 ohms), les intensités fournies par deux éléments de pile différents sont proportionnelles aux forces électromotrices de ces deux éléments.

En effet, soient I l'intensité du courant, E la force électromotrice de l'élément, R la résistance du circuit extérieur et r celle de la pile, on a :

$$I = \frac{E}{R + r},$$
$$E = IR + Ir.$$

r est toujours très faible ; et Ir peut être négligé, si R est considérable. On a donc approximativement

$$E = IR.$$

Et si l'on remplace cette pile par un élément ayant une force électromotrice E′, l'intensité étant I′, on aura

$$\frac{E}{E'} = \frac{IR}{I'R} = \frac{I}{I'}.$$

Voici comment on dispose l'expérience :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Aux bornes P, P′ (fig. 116) se relient successivement les pôles des deux piles. C est une clef d'inversion que nous décrirons ci-après, G un galvanomètre de Deprez et d'Arsonval, S un shunt et R une boîte de résistances.

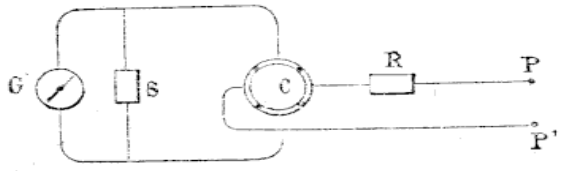


Fig. 116.

Mettons en R une résistance de 8.000 à 10.000^{ohms}, et 1 ohm dans le shunt S; puis attachons en P, P′ les bornes d'une pile-étalon du *Post Office* ayant 1,07 volts de force électromotrice. Débouchons le shunt de manière à obtenir deux déviations en sens contraire dont la somme soit égale à 107 divisions, ce qu'on obtient en dirigeant le courant successivement dans les deux sens avec la clef d'inversion; chaque division représente $\frac{1}{100}$ de volt.

Remplaçons maintenant l'étalon par la pile étudiée; en additionnant les deux déviations produites à droite et à gauche, on aura sa force électromotrice en centièmes de volt.

Si l'on fait varier convenablement les résistances du shunt et de la boîte, on peut obtenir un degré d'approximation plus ou moins élevé.

§ 596. **Clef d'inversion.** — Cet appareil (fig. 117) est formé de 4 secteurs en cuivre isolés, et pouvant être réunis par deux chevilles qu'on enfonce dans les entailles A, B, C, D.

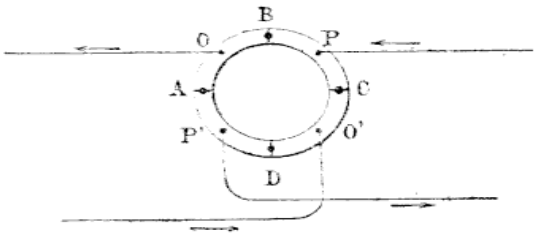


Fig. 117.

Les conducteurs de la pile sont reliés aux bornes P, P′, et les fils d'un circuit aux bornes O, O′; si les chevilles sont placées en B, D, le courant circulera à travers le circuit dans le sens des flèches; en mettant les chevilles en A, C, le courant marchera en sens contraire.

MESURE DES FORCES ÉLECTROMOTRICES DES DYNAMOS

§ 597. **Dynamos.** — Dans une dynamo (§ 636), la force électromotrice, pour un même circuit, varie avec la vitesse de la machine, et, pour une même vitesse, avec la résistance du circuit extérieur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On mesurera donc, non pas *la force électromotrice de la dynamo*, mais sa force électromotrice correspondant à une vitesse et à un circuit extérieur donnés.

Nous supposerons qu'il s'agit d'une machine dont les électro-aimants sont en circuit direct.

Appelons r la résistance de la dynamo (comprenant l'anneau induit et les électro-aimants) ; soient r' la résistance extérieure, et R la résistance totale, on a

$$R = r + r',$$

et par conséquent pour une vitesse de rotation donnée v.

$$I = \frac{E}{r + r'}, \quad \text{d'où} \quad E = Ir + Ir'.$$

Or le produit de l'intensité I par la résistance extérieure r' est égal à la différence de potentiel entre les points comprenant cette résistance, c'est-à-dire entre les bornes de la machine.

Soit D cette différence de potentiel, on aura

$$E = D + Ir.$$

La force électromotrice sera donc connue, si nous connaissons :

1° L'intensité du courant I ;

2° La résistance r de la machine ;

3° La différence de potentiel D entre les bornes de la machine.

L'intensité I est mesurée par un ampère-mètre A (fig. 118) intercalé dans le circuit. Un volt-mètre V, en dérivation sur les bornes de la machine, donne la différence de potentiel. Ces deux lectures doivent se faire simultanément, la machine tournant à la vitesse v.

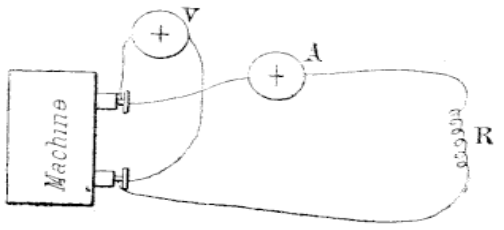


Fig. 118.

MESURE DES QUANTITÉS D'ÉLECTRICITÉ

§ 598. **Électrolyse. Lois de Faraday. Équivalents électro-chimiques.** — Quand on connaît l'intensité d'un courant supposée constante, on peut déterminer la quantité d'électricité fournie dans un temps donné par la formule $Q = It$, dans laquelle Q représente la quantité cherchée, I l'intensité et t le temps.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les lois suivantes, établies par Faraday, permettent d'obtenir directement les quantités d'électricité, en utilisant les phénomènes électrolytiques, c'est-à-dire de décomposition des corps par l'électricité :

1° L'action chimique est identique en tous les points d'un même circuit;

2° La quantité de substance, dite alors *électrolyte*, décomposée en un temps donné est proportionnelle à l'intensité du courant;

3° Si dans un même circuit, on place à la suite les uns des autres des bains de compositions différentes, les poids de ces divers électrolytes décomposés en un même temps sont proportionnels aux équivalents chimiques des corps qu'ils contiennent.

Or l'expérience a prouvé que, dans la décomposition de l'eau, un coulomb met en liberté

$$0^{mg},010384 \text{ d'hydrogène.}$$

Soit donc E l'équivalent chimique d'un corps rapporté à l'hydrogène, un coulomb mettra en liberté un poids p de ce corps égal à

$$p = E \times 0^{mg},010384,$$

p est l'*équivalent électro-chimique* du corps considéré, et la quantité C de coulombs nécessaires pour décomposer un poids P en milligrammes de ce corps est donnée par

$$(1) \qquad C = \frac{P}{0,010384 \times E}.$$

La formule (1) permet de déterminer la quantité d'électricité correspondant à la décomposition d'un poids donné d'un corps; et l'on possède ainsi un moyen de mesurer la quantité d'électricité qui a traversé un circuit pendant un temps déterminé.

On peut opérer avec un voltamètre (1) que l'on intercale dans le circuit avec l'intermédiaire d'un interrupteur. On mesure la quantité d'hydrogène dégagée pendant un temps donné; mais ces expériences sont très délicates à cause de la température et de la pression dont il faut tenir compte, et en raison de l'absorption de l'hydrogène par les électrodes.

On préfère se servir d'une dissolution métallique, telle que du sulfate de cuivre ou de l'azotate d'argent.

(1) Un *voltamètre* se compose d'une éprouvette dans laquelle viennent aboutir, à une certaine distance l'une de l'autre, les deux extrémités du circuit munies chacune d'une plaque en platine nommée *électrode*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans la dissolution saturée on met deux électrodes en platine. L'électrode négative a été pesée d'avance. On ferme le circuit au moyen d'un interrupteur pendant un temps donné. On retire l'électrode, et on la pèse de nouveau après l'avoir lavée avec soin. L'augmentation de poids étant P milligrammes pour un temps t exprimé en secondes, et A l'équivalent électro-chimique du métal, la quantité d'électricité est

$$Q = \frac{P}{A},$$

et l'intensité moyenne du courant est

$$I = \frac{P}{A \times t}.$$

Le tableau ci-joint contient les équivalents électro-chimiques des principaux corps :

§ 599. **Tableau des équivalents chimiques et électro-chimiques.**

NOMS	SYMBOLES	ÉQUIVALENTS	
		chimiques.	électro-chimiques
Hydrogène	H	1	0,010384
Aluminium	Al	13,7	0,142 26
Argent	Ag	108	1,121 47
Azote	Az	14	0.145 38
Bismuth	Bi	210	2,180 64
Brome	Br	80	0,830 72
Carbone	C	6	0,062 30
Chlore	Cl	35,5	0,368 63
Cuivre	Cu	31,8	0,330 21
Étain	Sn	59	0,612 66
Fer	Fe	28	0,290 75
Iode	Io	127	1,318 77
Manganèse	Mn	27,5	0,285 56
Mercure	Hg	100	1,038 40
Nickel	Ni	29,5	0,306 33
Or	Au	197	2,045 65
Oxygène	O	8	0,083 072
Platine	Pt	99	1,028 02
Plomb	Pb	103,5	1,074 74
Potassium	K	39	0.404 98
Sodium	Na	23	0,238 83
Soufre	S	16	0,166 14
Zinc	Zn	32,5	0,337 48

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

6E PIE. — CHAPITRE IV

APPLICATIONS PRATIQUES DES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE MESURE. PROBLÈMES DIVERS

ÉTUDE DES CONDUCTEURS

§ 600. — Les conducteurs en service dans les défenses sous-marines sont formés d'une âme en cuivre composée d'un fil unique ou de plusieurs torons. Cette âme est recouverte d'une enveloppe isolante de caoutchouc ou de gutta-percha ; et quelquefois le conducteur est protégé par une armature en fil de fer ou d'acier.

L'étude d'un conducteur, au point de vue électrique, comprend :

1° La conductibilité de l'âme ;

2° Le pouvoir isolant de l'enveloppe.

§ 601. **Conductibilité de l'âme.** — On se rend compte du pouvoir conducteur de l'âme, soit en mesurant sa conductibilité relative, par rapport au cuivre pur, soit en mesurant sa conductibilité absolue.

C'est, en général, la conductibilité relative que l'on détermine. Connaissant la résistance R d'un conducteur formé avec le métal type de longueur l et de section s ; on mesure la résistance R′ du conducteur essayé de longueur l' et de section s'. Soient c la conductibilité absolue du métal type et c' la conductibilité absolue du métal essayé, on a

$$R = \frac{l}{c\,s}, \text{ et } R' = \frac{l'}{c'\,s'}$$

d'où

$$\frac{c'}{c} = \frac{R}{R'} \times \frac{l'}{l} \times \frac{s}{s'}.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Appelons d et d' les diamètres des deux conducteurs, il vient

$$\frac{c'}{c} = \frac{R}{R'} \times \frac{l'}{l} \times \frac{d^2}{d'^2}.$$

$\frac{c'}{c}$ représente la conductibilité relative du métal essayé par rapport au métal type. Quand c est égal à l'unité, cette formule donne directement la valeur de c'. Ordinairement on prend $c = 100$; et l'on a

$$c' = 100 \times \frac{R}{R'} \times \frac{l'}{l} \times \frac{d^2}{d'^2}.$$

Les deux mesures doivent être faites à 0°, ou être ramenées à cette température au moyen des formules de correction.

Si l'on connaît à l'avance la résistance ρ que présente à 0° un conducteur fabriqué avec le métal type ayant 1 mètre de longueur et la même section que le conducteur essayé, l'expression devient

$$c' = 100\,\rho\,\frac{l'}{R'}.$$

C'est cette formule que l'on applique pour mesurer la conductibilité relative d'un conducteur. On détermine avec le pont de Wheatstone la résistance R′ que présente à 0° une longueur l' du conducteur essayé, et l'on remplace ρ par la résistance d'un mètre d'un conducteur en cuivre pur ayant même section que celui qu'on essaie.

Les marchés indiquent le nombre auquel la conductibilité c' ne doit pas être inférieure.

§ 602. **Mesure de la résistance de l'isolant d'un câble.** — Le circuit sera disposé, comme l'indique la fig. 119, avec une pile P communiquant à la terre, un interrupteur i, un galvanomètre G. En A, le circuit se rattache à l'âme du câble, qui est plongé dans l'eau d'une baille en communication avec la terre. L'autre extrémité est maintenue en l'air et isolée. Le courant s'échappe alors normalement à la surface du câble pour gagner la plaque de terre de la baille.

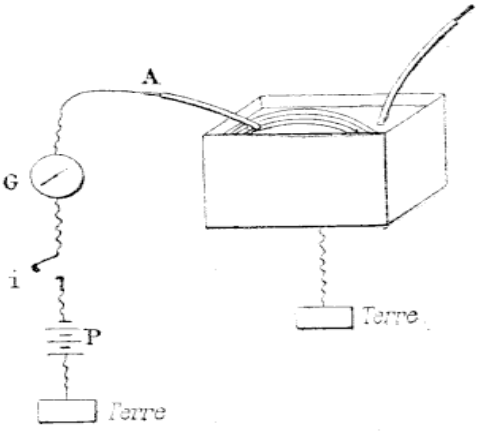


Fig. 119.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'interrupteur i étant fermé, on note, au bout d'un certain temps, 2 minutes par exemple, la déviation du galvanomètre.

Soient δ cette déviation, K la constante du galvanomètre, x la résistance de l'isolant du câble, E la force électromotrice de la pile, ρ la résistance du reste du circuit qui comprend la pile, le galvanomètre et la terre ; on a :

$$I = K\delta,$$
$$K\delta = \frac{E}{\rho + x},$$
$$x = \frac{E}{K\delta} - \rho.$$

Mais la résistance ρ, qui représente d'ordinaire quelques milliers d'ohms, est négligeable par rapport à la résistance x, qui est égale à plusieurs centaines de millions d'ohms ; on peut donc poser :

$$x = \frac{E}{K\delta}.$$

La constante K est connue en ampères, E est donné en volts, x sera donc déterminé en ohms.

La pile doit avoir une grande force électromotrice ; elle sera composée de 100 ou 200 éléments Daniell.

On emploiera le galvanomètre Thomson à miroir.

§ 603. **Résistance par kilomètre.** — La résistance de l'isolant d'un câble est inversement proportionnelle à sa longueur. Car on peut regarder l'isolant comme un conducteur ayant pour longueur son épaisseur et pour section la surface du câble, qui est du reste proportionnelle à sa longueur.

Soit x la résistance mesurée que présente l'isolant d'un câble de longueur l (l étant exprimé en kilomètres), la résistance par kilomètre sera $x \times l$.

§ 604. **Correction de température.** — La résistance des substances isolantes, comme le caoutchouc ou la gutta-percha, diminue quand la température augmente. Il faudra donc observer avec soin la température à laquelle on opère, et ramener la résistance mesurée à la température pour laquelle est donnée la résistance kilométrique du câble type. Cette réduction se fait au moyen de tables donnant le rapport des résistances pour diverses températures.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 605. **Tableau des résistances de la gutta-percha à diverses températures.**

Température.	Résistance.
24°	1
23°,9	1,015
23°,8	1,030
23°	1,161
20°	1,816
18°	2,448
14°	4,449

On voit que pour une augmentation de température d'environ 5°, la résistance diminue de moitié.

§ 606. **Mesure de l'isolement d'une ligne télégraphique aérienne.** — On établit d'abord un circuit fermé (fig. 120) comprenant une pile de trois ou quatre éléments d'un modèle quelconque, un galvanomètre G et une résistance R fixe de 10.000 ohms, par exemple ; on observe une déviation d. Ensuite on enlève la résistance R ; on met un des pôles de la pile à la terre (fig. 121), et à l'autre borne on attache le fil de la ligne que l'on étudie, dans lequel on intercale le galvanomètre. L'extrémité du fil M doit être isolée. On aura une nouvelle déviation d_1, et l'isolement de la ligne sera

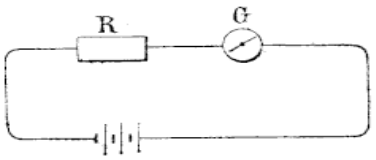


Fig. 120.

$$R_1 = 10\,000 \times \frac{d}{d_1}.$$

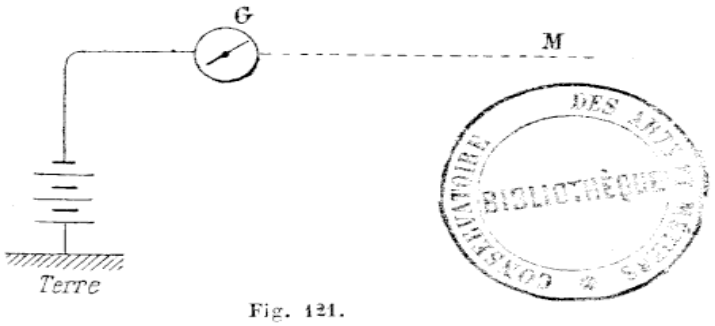


Fig. 121.

CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS BIBLIOTHÈQUE

Pour cette expérience, on emploiera le galvanomètre de MM. Deprez et d'Arsonval, qui est fort sensible et d'un usage très pratique.

La ligne ayant, par exemple, 200 kilomètres, l'isolement kilométrique sera

$$10.000 \times 200 \times \frac{d}{d_1}.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quand le temps est sec, l'isolement kilométrique ne doit pas être inférieur à 300.000 ohms.

§ 607. **Essai des isolateurs.** — Pour essayer les isolateurs en porcelaine qui servent à supporter les fils télégraphiques aériens, c'est-à-dire pour constater qu'ils ne livrent pas passage au courant, on les place dans une auge, comme l'indique la figure 122. On verse de l'eau acidulée dans la cloche et dans l'auge, mais de façon que le niveau du liquide n'affleure pas au bord de la cloche. On met le liquide de l'auge en communication avec le pôle d'une pile. A l'autre pôle, on relie un galvanomètre G et une petite plaque de cuivre C. On plonge cette lame dans la cloche à essayer. Le courant ne pouvant passer qu'à travers la porcelaine, on reconnaît facilement par le galvanomètre s'il existe un défaut d'isolement.

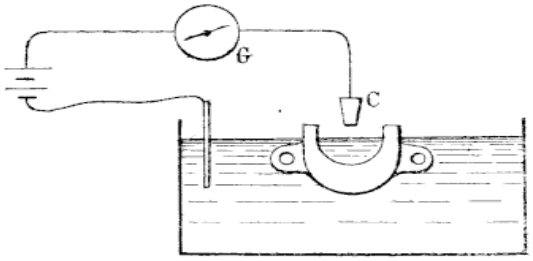


Fig. 122.

§ 608. **Recherche des défauts d'isolement dans les lignes. Méthode de Murray.** — Quand il s'agit d'un conducteur garni d'une armature métallique, le défaut d'isolement peut provenir d'une communication entre l'âme et l'armature. La méthode de Murray permet d'en déterminer rapidement la place.

On forme un pont de Wheatstone comprenant l'âme du câble *acb* (fig. 123) et un fil *adb* de longueur fixe *l*. Un galvanomètre est relié aux extrémités *a*, *b*. L'un des pôles de la pile P est mis en communication avec le défaut par l'intermédiaire de l'armature ; à l'autre pôle est un fil que l'on met en contact avec *ab*. On déplace le point *d* jusqu'à ce que le galvanomètre ne donne aucune déviation. Supposons que le défaut se trouve à une distance *x* de *a*. Soit L la longueur totale de l'âme ; on a constitué ainsi un pont de Wheatstone à fil, analogue à celui que

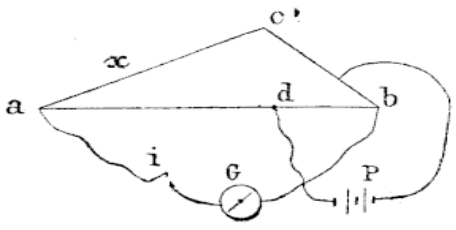


Fig. 123.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nous avons décrit § 583, et l'on peut poser

$$\frac{x}{L-x} = \frac{ad}{l-ad},$$

$$x = \frac{ad}{l} L.$$

L'expérience est disposée comme l'indique la figure 124. Sur une planchette en bois sec, on fixe à 1^m de distance l'une de l'autre

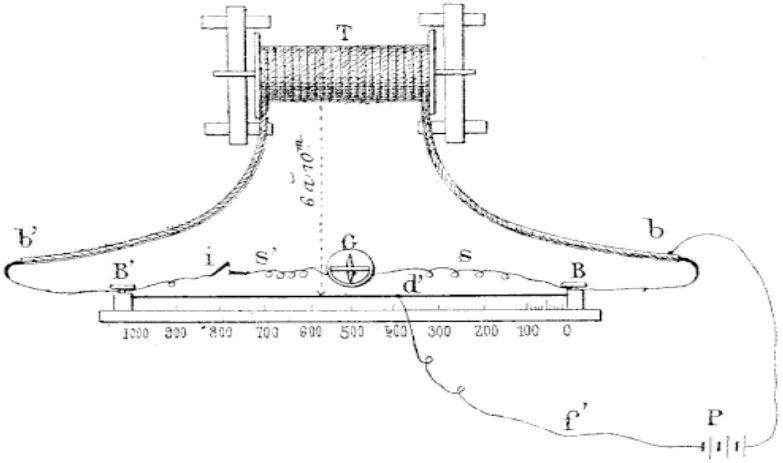


Fig. 124.

deux bornes B, B′, entre lesquelles on tend un fil de maillechort de 2^{mm} environ et une règle divisée. Aux deux bornes se rattachent les extrémités du câble qui est enroulé sur un touret T. Un galvanomètre est disposé entre B et B′ avec un interrupteur *i*.

Un des pôles d'une forte pile P est relié à l'armature au point *b*; à l'autre pôle est un fil *f*′, que l'on tient à la main, et que l'on promène sur la règle jusqu'à ce qu'on trouve un point pour lequel le galvanomètre ne dévie plus.

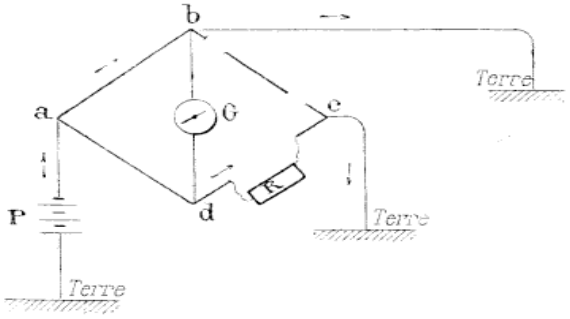


Fig. 125.

§ 609. **Mesure de la résistance d'un fil entre deux stations.** — Cette mesure se fait avec le pont de Wheatstone, et l'expérience est disposée de la manière suivante (fig. 125). On se place à l'une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des stations, et l'on relie à la borne *b* le fil essayé, qui, dans l'autre station, aboutit à la terre. La borne *c* est mise en communication avec la terre. On interpose entre *c* et *d* une boîte de résistances R ; et l'on enlève des fiches jusqu'à ce que le galvanomètre ne dévie plus. On obtient ainsi la résistance du fil pour la distance L qui sépare les deux stations ; en divisant le chiffre trouvé par L on obtient la résistance kilométrique de la ligne, et l'on peut apprécier sa conductibilité.

§ 610. **Détermination du point d'une ligne où se trouve une perte de courant.**

1° *Cas d'une ligne double.* — Supposons d'abord que la ligne comporte deux fils. On s'établira au poste A, et les deux fils seront réunis entre eux au poste B. Le pont sera disposé comme l'indique la figure 126. Admettons que la perte de courant se produise au point D. Plaçons sur le côté *d c* du pont une boîte de résistances R.

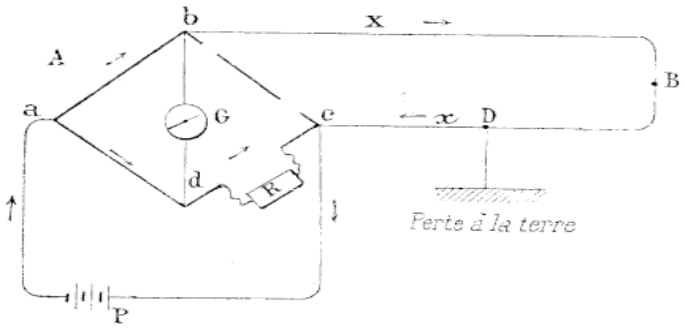


Fig. 126.

Le courant se divisera en deux parties : l'une suivant *a b* B *c*, et l'autre se dirigeant en *a d c*, l'aiguille du galvanomètre déviera ; on interposera alors une résistance convenable R′, jusqu'à ce que cette déviation devienne nulle ; les résistances des deux parcours seront alors égales.

Soient X la résistance de la portion *b* B D de la ligne, et *x* celle de la partie D*c* ; on a

$$R' = X + x,$$

d'où

$$X = R' - x. \qquad (1)$$

Cette première partie de l'expérience étant terminée, on disposera les appareils comme l'indique la figure 127, c'est-à-dire que l'un des pôles de la pile sera mis en communication avec la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

terre. Le courant se divise en deux parties, l'une en *ab*BD, l'autre suivant *adc*D ; et ces deux portions viennent aboutir en D à la terre. En débouchant dans la boîte une résistance convenable R'_1, on neutralisera les déviations du galvanomètre. A ce moment, les résistances seront égales des deux côtés, et on aura

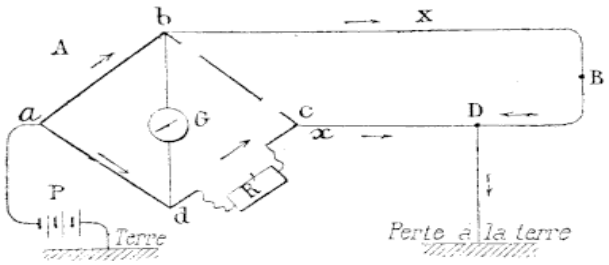


Fig. 127.

$$(2) \quad R'_1 + x = X.$$

Des équations (1) et (2) on tire

$$x = \frac{R' - R'_1}{2}.$$

La résistance x étant évaluée en ohms, pour avoir la distance en kilomètres entre la station A et le défaut, il suffira de diviser ce nombre par la résistance kilométrique normale du fil télégraphique (10 ohms pour un fil de 4^{mm} de diamètre).

2° *Cas d'une ligne simple.* — S'il s'agit d'une ligne AB comportant un fil unique (fig. 128), et que le dérangement se trouve en un point inconnu D, on se placera à la station A, et on isolera le fil en B ; puis on mesurera comme en 1°, la résistance R_1 comprise entre A et D, qui est égale à la résistance R du fil augmentée de la résistance r du défaut :

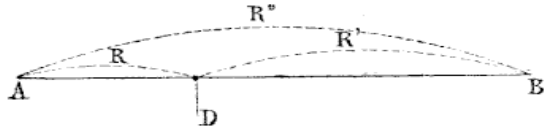


Fig. 128.

$$(1) \quad R_1 = R + r.$$

On opérera de même à la station B ; on isolera le fil en A, puis on mesurera R_2 comprenant la résistance R′ du fil et la résistance r du défaut :

$$(2) \quad R_2 = R' + r.$$

On connaît *a priori* la résistance R″ de la ligne entière ; car il suffit pour l'obtenir de multiplier la distance kilométrique des deux stations par la résistance d'un kilomètre de fil. Du reste on a

$$(3) \quad R'' = R + R'.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

De ces trois équations on tire

$$R' = \frac{R_2 - R_1 + R''}{2}.$$

Enfin de R′ on déduit, comme en 1°, la distance de la station B au défaut.

§ 611. **Table des conductibilités relatives et absolues des différents métaux.**

NOMS des SUBSTANCES	CONDUCTIBILITÉ relative d'après Jenkin à 0° *a*	RÉSISTANCE d'un centim. cube entre ses faces opposées à 0° (Résistance spécifique) (Microhms) *b*	RÉSISTANCE d'un fil de 1 mètre de long et de 1 millimètre de diamètre à 0° (Ohms) *c*	RÉSISTANCE d'un fil long d'un mètre pesant 1 gramme à 0° (Ohms) *d*	COEFFICIENT K d'augmentation de résistance par degré centig. aux environs de 20° *e*
Argent recuit	108,5	1,521	0,01937	0,1544	0,00377
Argent écroui	100,0	1,652	0,02103	0,1680	»
Cuivre recuit	»	1,616	0,02057	0,1440	0,00388
Cuivre écroui	99,55	1,652	0,02104	0,1469	»
Or recuit	»	2,081	0,02650	0,4080	0,00365
Or écroui	77,96	2,118	0,02697	0,4150	»
Aluminium recuit	»	2,945	0,03751	0,0757	»
Zinc	29,02	5,689	0,07244	0,4067	0,00365
Platine recuit	»	9,158	0,1116	1,9600	»
Fer recuit	16,81	9,825	0,1251	0,7654	»
Nickel recuit	13,11	12,60	0,1604	0,0710	»
Étain comprimé	12,36	13,36	0,1701	0,9738	0,00365
Plomb comprimé	8,32	19,85	0,2527	2,257	0,00387
Antimoine comprimé	4,62	35,90	0,4571	2,411	0,00389
Bismuth comprimé	1,245	132,70	1,689	13,030	0,00354
Alliage de platine et d'argent recuit ou écroui	»	24,66	0,3140	2,959	0,00031
Mercure liquide	1,630	99,74	1,270	13,060	0,00072
Maillechort recuit ou écroui	»	21,17	0,2695	1,850	0,00044
Alliage d'or et d'argent recuit ou écroui	»	10,99	0,1399	1,668	0,00065
Bronze phosphoreux	»	30,0	»	»	»
Bronze silicieux (Lazare-Weiller)	»	Variable suivant la composition de 35 à 98.	»	»	0,0039

§ 612. **Remarques.** Pour les lignes télégraphiques aériennes, on se sert de fils de fer recuits galvanisés ayant des diamètres de 4 ou 3^{mm}.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour les lignes souterraines, où le conducteur n'est soumis à aucune tension mécanique, on emploie de préférence du cuivre. Au lieu de former ce conducteur d'un fil unique, on préfère le composer de petits fils tordus formant une sorte de corde. La rupture d'un fil n'entraîne pas l'interruption complète de communication. Ce câble est isolé par de la gutta-percha.

Le cuivre pur ne peut être employé pour les lignes aériennes à cause de la faible résistance qu'il offre à la traction. Il s'allonge indéfiniment sous de faibles charges ; mais si on ajoute à ce métal une petite quantité de silicium, on augmente de beaucoup sa résistance à la traction, et l'on diminue très peu sa conductibilité électrique.

Le tableau ci-dessous permet d'établir la comparaison entre les fils de cuivre pur et ceux de bronze silicieux pour les différents diamètres.

§ 613. **Comparaison du cuivre pur avec les bronzes silicieux.**

DÉSIGNATION du métal	RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE au kilomètre à 0° centigrade pour des fils des diamètres suivants : (millim.)						CONDUCTIBILITÉ par rapport au cuivre pur à 0°	RÉSISTANCE à la rupture par millimètre carré	POIDS AU KILOMÈTRE pour des fils des diamètres suivants : (millim.)					
	8/10	1	11/10	1 1/4	1 1/2	2			8/10	1	11/10	1 1/4	1 1/2	2
	Ohms							Kilog.	Kilogrammes					
Cuivre pur. .	32,14	20,57	17,00	13,18	9,13	5,14	100	28	3,90	6,10	7,38	9,56	13,79	24,65
Bronze silicieux télégraphique .	33,25	21,28	17,58	13,63	9,45	5,32	97	45	4,40	6,87	8,32	10,75	15,47	27,50
Bronze silicieux téléphonique. .	103,98	66,55	55,00	42,59	29,57	16,64	31	80	4,50	7,03	8,50	11,00	15,81	28,10

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

6E PIE. — CHAPITRE V

PILES ET ACCUMULATEURS

NOTIONS GÉNÉRALES

§ 614. **Théorie et définitions.** — Le courant dans les piles est produit par des réactions chimiques. Si nous prenons, par exemple, un couple de Volta, composé d'une lame de zinc et d'une lame de cuivre plongées dans de l'eau contenant de l'acide sulfurique, voici les réactions qui se produisent :

L'eau se décompose en hydrogène, qui se dégage, et en oxygène, qui forme avec le zinc un oxyde ; ce dernier se combine lui-même avec l'acide sulfurique pour constituer du sulfate de zinc. On a la réaction

$$Zn + HO + SO^3 = ZnO, SO^3 + H.$$

Par l'effet de cette réaction chimique, chaque métal du couple prend un certain potentiel, dont la différence détermine un courant, quand les deux métaux sont mis en communication par un conducteur extérieur.

Les lames métalliques se nomment *électrodes*, comme au § 598. Les *pôles* sont les parties des électrodes auxquelles on rattache le circuit extérieur. On admet que le courant circule en dehors de la pile du pôle positif, qui est le cuivre, au pôle négatif qui est le zinc.

§ 615. **Polarisation.** — Dans le couple que nous venons d'examiner, l'hydrogène s'accumule sur la lame de cuivre, et par son affinité pour l'oxygène il oppose une résistance à la décomposition de l'eau ; il se forme ainsi un courant en sens contraire du premier, qu'on appelle courant *de polarisation*.

Pour détruire l'effet nuisible de ce courant, on a songé à ab-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sorber l'hydrogène, au fur et à mesure de sa formation, dans une combinaison chimique. C'est sur ce principe que sont basées les piles à deux liquides, comme celles de Daniell et de Bunsen.

Dans l'élément Daniell, la lame de cuivre baigne dans une dissolution de sulfate de cuivre. L'hydrogène réduit ce sulfate, et le cuivre à l'état métallique se dépose sur l'électrode.

Dans la pile de Bunsen, l'électrode est plongée dans de l'acide azotique, qui, sous l'action de l'hydrogène, se transforme en acide azoteux et acide hypoazotique.

L'hydrogène se trouve ainsi absorbé dans les deux cas, et la pile est dépolarisée.

Nous décrirons plus loin ces piles en détail.

§ 616. **Résistance de la pile.** — Les différentes parties d'une pile étant traversées par le courant opposent, comme le circuit extérieur, une résistance qui varie suivant les réactifs formant la pile, le degré de saturation des liquides et le mode de construction de l'élément.

§ 617. **Groupement des éléments d'une pile.** — Les éléments d'une même pile peuvent être accouplés de différentes façons.

Si on les dispose de telle manière que le pôle positif de l'un soit relié au pôle négatif de l'autre, comme l'indique la figure 129, on dit que les éléments sont accouplés en *tension* ou en *série*. La force électromotrice est multipliée par le nombre des éléments, et la résistance totale de la pile augmente dans le même rapport ; car on a, en somme, n courants qui se superposent et se combinent en un seul. Soient e la force électromotrice d'un élément, r sa résistance, et n le nombre d'éléments ; la force électromotrice totale sera ne, et la résistance nr.

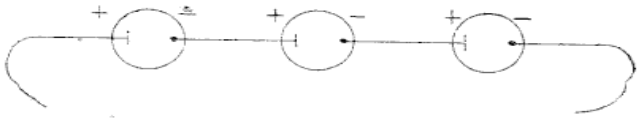


Fig. 129.

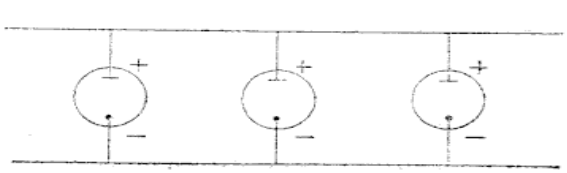


Fig. 130.

Si l'on adopte la disposition de la figure 130, c'est-à-dire que si l'on réunit ensemble les pôles de même nom, les éléments

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sont associés en *quantité* ou en *dérivation;* la force électromotrice totale est égale à e ; mais la résistance totale est $\frac{r}{n}$, car les choses se passent comme si le courant traversait un conducteur liquide ayant n fois la section du liquide d'un seul élément, et par suite offrant n fois moins de résistance que cet élément.

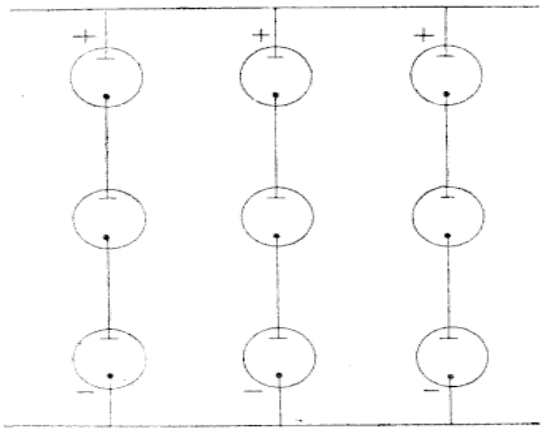


Fig. 131.

On peut encore grouper un certain nombre d'éléments en tension et réunir les séries ainsi formées en quantité, comme l'indique la figure 131.

Le mode de groupement le plus favorable peut être déterminé dans chaque cas par les considérations suivantes.

Supposons que l'on dispose de n éléments ayant une force électromotrice e et une résistance r. Soient R la résistance du circuit extérieur et I l'intensité du courant.

1° Associons tous les éléments en tension ; la force électromotrice totale sera ne et la résistance totale de la pile nr ; on aura donc d'après la loi de Ohm

$$I = \frac{ne}{R + nr}.$$

Si R est très petit par rapport à r, on pourra négliger cette quantité ; et l'on aura approximativement

$$I = \frac{ne}{nr} = \frac{e}{r},$$

c'est-à-dire que la force électromotrice totale sera égale à celle d'un seul élément, et que l'intensité du courant sera très restreinte. Donc avec une résistance extérieure très faible, il ne faut pas accoupler les éléments en tension.

Si, au contraire, R est très grand par rapport à r, on peut poser

$$I = \frac{ne}{R}.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'intensité du courant est alors proportionnelle au nombre d'éléments ; il y a donc intérêt à les grouper en tension.

2° Disposons tous les éléments en quantité, la force électromotrice de la pile sera égale à e, et sa résistance à $\frac{r}{n}$. On a

$$I = \frac{e}{R + \frac{r}{n}} = \frac{ne}{nR + r}.$$

Si R est négligeable, on a approximativement

$$I = \frac{ne}{r}.$$

L'intensité du courant est proportionnelle au nombre d'éléments ; la disposition en quantité est donc avantageuse.

Si R est très grand par rapport à r, on peut poser

$$I = \frac{ne}{nR} = \frac{e}{R}.$$

Le mode de groupement en quantité est défectueux dans ce cas.

On peut donc dire que, *pour une résistance extérieure très grande par rapport à celle de la pile, on doit grouper ses éléments en tension ; si la résistance extérieure est faible, il faut les disposer en quantité.*

3° Adoptons une combinaison intermédiaire, comme celle de la fig. 131 ; et supposons que nous disposions les n éléments, de manière à réunir dans chaque série x éléments, nous aurons $\frac{n}{x}$ dérivations.

La force électro-motrice totale sera xe, et la résistance de chaque série xr. Quant à la résistance totale r', elle est donnée par

$$r' = \frac{xr}{\frac{n}{x}} = \frac{x^2 r}{n}.$$

On aura donc

$$I = \frac{xe}{R + \frac{x^2 r}{n}} = \frac{nxe}{nR + rx^2}.$$

Pour avoir la valeur de x, qui rend cette expression maximum, égalons à 0 la dérivée par rapport à x ; il vient

$$ne(nR + x^2 r) - 2nrex^2 = 0,$$

d'où

$$\frac{x^2 r}{n} = R.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On voit que

$$R = r'.$$

On peut donc conclure que l'intensité est maximum quand la résistance de la pile est égale à celle du circuit extérieur.

DESCRIPTION DES PILES EMPLOYÉES DANS LA MARINE

§ 618. **Pile à eau**. — La pile à eau (fig. 132) se compose d'une lame de zinc amalgamé Z et d'une plaque de charbon de cornue C. Le liquide excitateur est de l'eau ordinaire, de l'eau salée, ou mieux de l'eau contenant 1/20 d'acide sulfurique en volume.

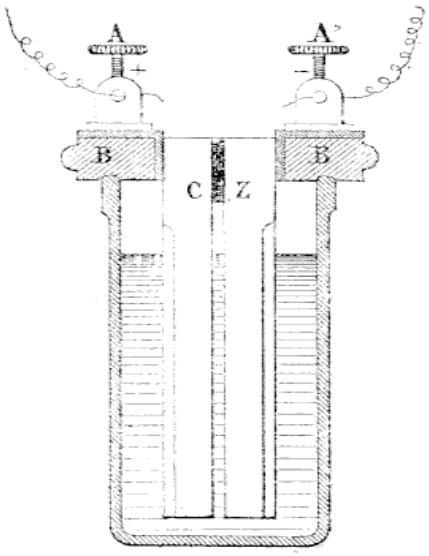


Fig. 132.

Dans le service des défenses sous-marines, les deux lames polaires sont encastrées à frottement dans un disque en bois dur B servant de couvercle ; et leurs parties supérieures sont réunies par un isolant.

Cette pile est facile à monter ; le courant est assez faible pour qu'on n'ait pas à craindre d'endommager les instruments de précision dont on fait usage.

Mais cet élément se polarise, et la force électromotrice ainsi que la résistance intérieure sont très variables ; on ne peut donc pas compter qu'il fournira un même courant à des époques différentes dans des circuits extérieurs identiques, ni que le courant produit dans un certain circuit se maintiendra constant même pendant quelques minutes.

L'usage du couple à eau est tout indiqué pour les mesures qui n'exigent pas une pile de force électromotrice et de résistance intérieure connues ou susceptible de donner pendant un certain temps un courant constant, mais dans lesquelles on veut être sûr que le courant ne dépassera pas une certaine intensité. C'est ce qui se présente quand on mesure la résistance électrique des amorces ou des galvanomètres à fil fin.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 619. **Pile Daniell.** — La pile Daniell (fig. 133) est formée d'une lame de zinc Z amalgamé plongée dans une dissolution étendue d'acide sulfurique, et d'une lame de cuivre C placée dans un vase poreux P qui contient une dissolution de sulfate de cuivre. Nous avons vu (§ 615) comment la dépolarisation est obtenue par la réduction de ce sel. La force électromotrice de cette pile est à peu près constante ; elle représente 1,07 volt, et dans la pratique courante on peut la prendre pour unité. La force électromotrice varie peu avec la température.

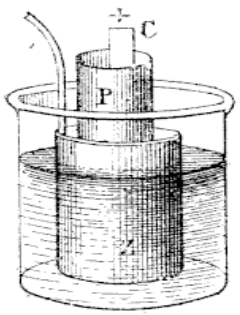


Fig. 133.

Mais la résistance de la pile n'est pas constante, parce que la solution du sulfate de cuivre s'appauvrit pendant la marche, tandis que celle du sulfate de zinc va en s'enrichissant.

Un autre inconvénient provient du mélange des deux sulfates à travers le vase poreux. Le sulfate de cuivre au contact du zinc se réduit et se trouve ainsi consommé en pure perte, même sans que le circuit soit fermé et sans que la pile produise du travail.

L'élément Daniell exige des soins fréquents, à cause des dépôts métalliques de cuivre qui recouvrent bientôt le vase poreux et des sels grimpants qui se forment le long du vase extérieur, quand la dissolution de sulfate de zinc est saturée. Il peut ainsi s'établir entre les électrodes des communications anormales.

L'élément Daniell à vase poreux fournit peu d'intensité ; le vase poreux présente une grande résistance. Cette pile sert pour la comparaison des forces électromotrices, la recherche des constantes des galvanomètres et la mesure des résistances des conducteurs.

§ 620. **Daniell étalon du Post-Office.** — Cet élément (fig. 134) se compose d'une boîte contenant trois vases distincts : celui de gauche renferme une lame de zinc Z plongée dans l'eau, celui de droite contient un vase poreux plat et rectangulaire C.

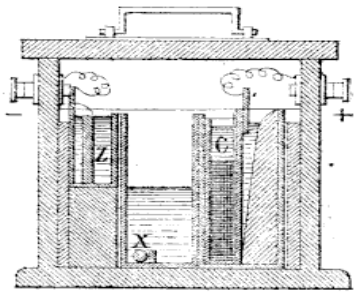


Fig. 134.

Dans le vase poreux se trouvent une dissolution de sulfate de cuivre et une lame de cuivre ; le vase

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

poreux plonge dans l'eau. Le vase du milieu renferme une solution à moitié saturée de sulfate de zinc, et au fond un petit cylindre de zinc X dans un compartiment spécial.

Lorsqu'on veut se servir de la pile, on retire le vase poreux de sa place de repos ainsi que le zinc, et on les met tous les deux dans le vase du milieu ; la pile est alors prête à fonctionner.

On les remet dans leurs vases de repos respectifs lorsqu'on a fini de s'en servir ; le peu de sulfate de cuivre qui a traversé le vase pendant le travail vient se déposer sur le zinc X. La solution reste ainsi toujours très claire. Avec une pile nouvellement montée, la force électromotrice est de $1^{volt},079$. En service courant on lui attribue une force de $1^{volt},07$.

§ 621. **Pile Callaud.** — Pour diminuer l'inconvénient provenant de la résistance dans l'élément Daniell, on supprime le vase poreux, et l'on superpose les deux liquides en raison de leur différence de densité. Il est indispensable que la pile ne soit jamais remuée.

La lame de cuivre C, enroulée en cylindre (fig. 135), plonge jusqu'au fond d'un vase de verre où se trouve une dissolution concentrée de sulfate de cuivre. Un cylindre épais de zinc Z est placé à la partie supérieure dans de l'eau contenant 1/10 de solution saturée de sulfate de zinc. La lame de cuivre est attachée à une tige de même métal, recouverte d'une couche de gutta-percha qui la préserve.

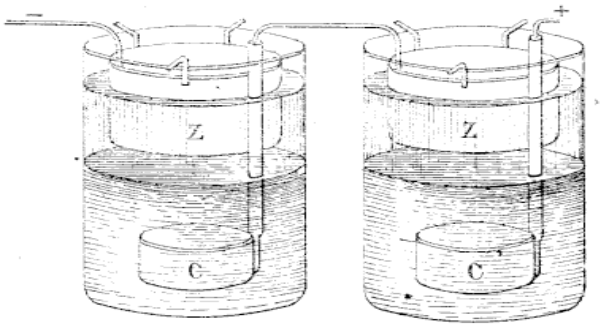


Fig. 135.

Le couple Callaud exige très peu d'entretien. Il suffit de remplacer de temps en temps l'eau évaporée. Pour monter le couple, on verse d'abord dans le vase la dissolution de sulfate de zinc ; puis avec un siphon on fait arriver le sulfate de cuivre au fond de cette dissolution.

La force électromotrice se maintient longtemps constante en circuit ouvert et en circuit fermé ; on obtient un courant constant plus intense qu'avec l'élément Daniell ordinaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 622. **Pile Bunsen.** — L'élément Bunsen (fig. 136) est formé d'un vase en grès vernissé V, contenant une lame de zinc Z amalgamé, enroulée en cylindre. Un vase poreux P, placé au milieu, renferme un prisme de charbon de cornue C qui constitue le pôle positif. Dans le vase de grès, on verse de l'eau contenant 8 à 12 parties en poids d'acide sulfurique p. 100 du mélange. Le vase poreux contient le dépolarisant, formé d'acide nitrique marquant 36 à 40°. Ce liquide agit, comme nous l'avons vu (§ 615), en absorbant l'hydrogène.

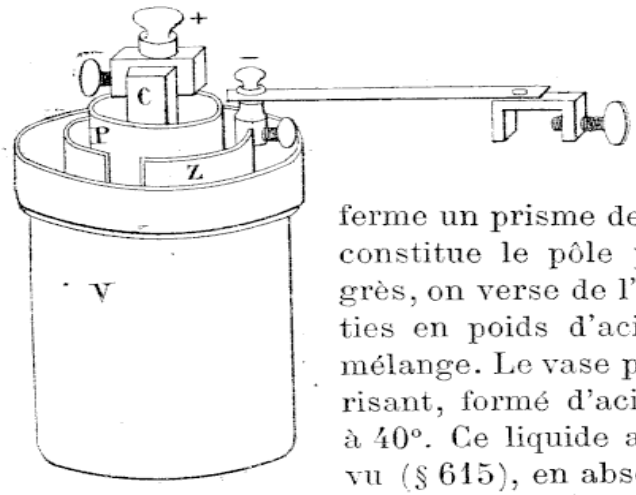


Fig. 136.

La force électromotrice du couple Bunsen est de $1^{volt},90$. Sa résistance, à dimensions égales, est bien plus faible que celle de l'élément Daniell. Cette pile est employée quand on veut obtenir des courants énergiques.

Son inconvénient est que, le degré de l'acide nitrique allant en s'abaissant, la résistance augmente et la pile n'est pas constante ; à 28°, l'acide ne peut plus servir et doit être renouvelé.

Le dégagement de vapeurs nitreuses est quelquefois un obstacle hygiénique à l'emploi de ces piles, qui exigent un local parfaitement aéré.

§ 623. **Pile Poggendorff (Bunsen modifié).** — La disposition de cette pile est la même que celle de Bunsen. La seule différence est dans la composition du liquide dépolarisant ; ce dernier est formé d'un mélange de bichromate de potasse et d'acide sulfurique. Pour opérer ce mélange, on fait à chaud une dissolution saturée de bichromate (210 grammes pour 1 litre d'eau) ; et, après refroidissement, on ajoute 1 partie en volume d'acide de densité 1,845 pour 7 parties en volume de solution de bichromate. On doit verser l'acide peu à peu pour éviter l'échauffement. On ajoute ensuite des cristaux de bichromate en excès dans le mélange. La force électromotrice de cet élément est environ double de celui de Daniell. Le modèle de l'élément Poggendorff adopté par les défenses sous-marines peut, en raison de sa faible

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

résistance intérieure et de sa grande force électromotrice, fournir un courant très intense (8 à 9 *ampères*) *en court circuit*.

Quand l'intensité du courant n'est pas trop grande, la pile reste constante pendant assez longtemps. Avec des éléments bien montés, on peut entretenir, durant plus de 12 heures, un courant de 1 ampère.

On s'en sert pour mesurer la constance des galvanomètres trop peu sensibles pour qu'on fasse usage des éléments Daniell, et pour l'étalonnage des ampère-mètres.

Mais une pile Poggendorff ne peut rester montée quelque temps, même en ne produisant pas de courant, sans perdre beaucoup de puissance. De là la nécessité de la remonter souvent, ce qui constitue un grand inconvénient.

§ 624. **Élément étalon de Latimer-Clark**. — M. Latimer-Clark qui cherchait une pile « *ayant une force électromotrice parfaitement constante et maintenant une invariable différence de potentiel entre ses pôles* », imagina un élément zinc, sulfate de zinc, sulfate de mercure, mercure.

Le zinc chimiquement pur est obtenu par distillation. Le sulfate de zinc doit être bien pur et saturé. On forme une pâte épaisse avec du sulfate de mercure et du sulfate de zinc saturé; on chauffe cette pâte à 100°, pour chasser l'air; on la verse ensuite sur la surface du mercure préalablement chauffé. Le zinc est suspendu dans la pâte; enfin le vase est fermé avec de la paraffine fondue. Le pôle positif est un fil de platine passant dans un tube de verre qui descend jusqu'au mercure.

La force électromotrice d'un pareil élément est remarquablement constante ; elle est égale à $1^{volt},457$ à 15° centigrades. Cette force reste invariable presque indéfiniment, *pourvu que le couple ne fournisse pas de courant ;* elle varie cependant un peu avec la température. Cet élément convient pour toutes les mesures où l'on n'a pas besoin de courant continu ; par exemple, pour la mesure des forces électromotrices au moyen du condensateur.

§ 625. **Couple à maxima**. — M. Reynier a établi un étalon de force électromotrice, c'est-à-dire un couple dont la force peut être considérée comme constante, pourvu qu'on le fasse travailler

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sur un circuit assez résistant. Ce couple (fig. 137) est à un seul liquide. Pour diminuer la polarisation, la lame positive C a une énorme surface ; elle est en cuivre, plissée et à jours et développe une surface de $30^{d\cdot q}$, 300 fois plus grande que celle du zinc. L'électrode négative est formée d'un fil de zinc Z de 3^{mm} de diamètre plongeant au centre du vase. On peut soulever et fixer ce fil au moyen d'une vis de pression agissant sur le manchon dans lequel il est guidé. Une pièce isolante B, fixée sur l'électrode, prévient toute dérivation par le couvercle, et sert en même temps de butée quand on soulève le zinc pour mettre la pile au repos.

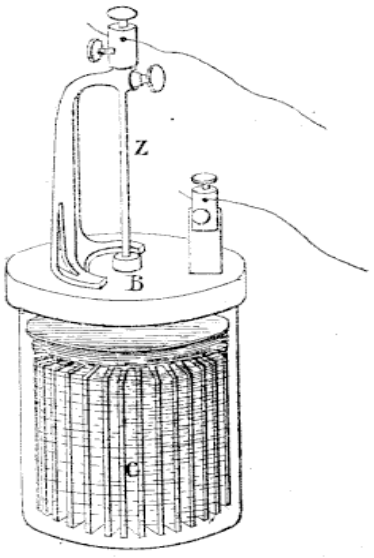


Fig. 137.

Ce couple a une résistance de 0,2 à 4 ohms, suivant le liquide employé, valeur négligeable quand la résistance totale du circuit galvanométrique atteint plusieurs milliers d'ohms. Sa force électromotrice perd moins d'un centième de sa valeur pour un travail de deux heures à l'intensité d'un milli-ampère. On peut donc regarder la pile comme constante pendant le peu de minutes nécessaires à une mesure de potentiel par les méthodes connues. Le zinc est amalgamé ; et, si l'on charge le couple avec une dissolution de chlorure de sodium (1.000^{gr} d'eau pour 200^{gr} de chlorure), la force électromotrice est de 0^{volt},82.

§ 626. **Pile Leclanché**. — Dans l'élément Leclanché, le pôle négatif est constitué par un crayon de zinc Z (fig. 138). Le pôle positif est formé d'une lame de charbon C recouverte sur ses deux grandes faces par deux plaques d'aggloméré A, A ; celles-ci sont composées de peroxyde de manganèse et de charbon de cornue pulvérisés et agglutinés après mélange.

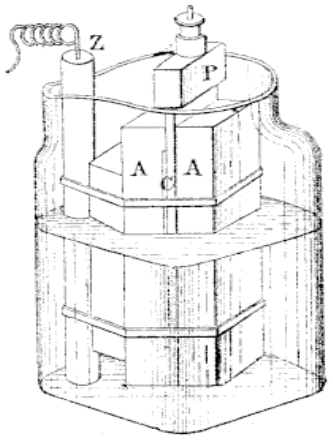


Fig. 138.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les deux pôles sont plongés dans une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque renfermée dans un vase en verre. La réaction chimique peut s'exprimer ainsi :

$$AzH^4Cl + 2(MnO^2) + Zn = Mn^2O^3 + AzH^3 + HO + ZnCl.$$

L'hydrogène réduit, comme on le voit, le peroxyde de manganèse, qui passe à l'état de sesquioxyde. Son action polarisante se trouve donc ainsi détruite.

Dans le service des défenses sous-marines, la lame de charbon est terminée par une tête en plomb. L'armature métallique du charbon et la tige de zinc sont respectivement surmontées d'une tige filetée en laiton, sur laquelle s'engage un écrou, qui permet d'y fixer l'un des fils du circuit. La tête métallique du charbon est attenante au couvercle en bois verni du vase en verre ; le crayon de zinc entre à frottement dans une gaine en caoutchouc vulcanisé traversant ce couvercle. Enfin un bout de tube en verre livre passage aux gaz produits par les réactions chimiques. Les éléments Leclanché associés au nombre de huit dans une boite rectangulaire (fig. 139) forment la *pile de bord*.

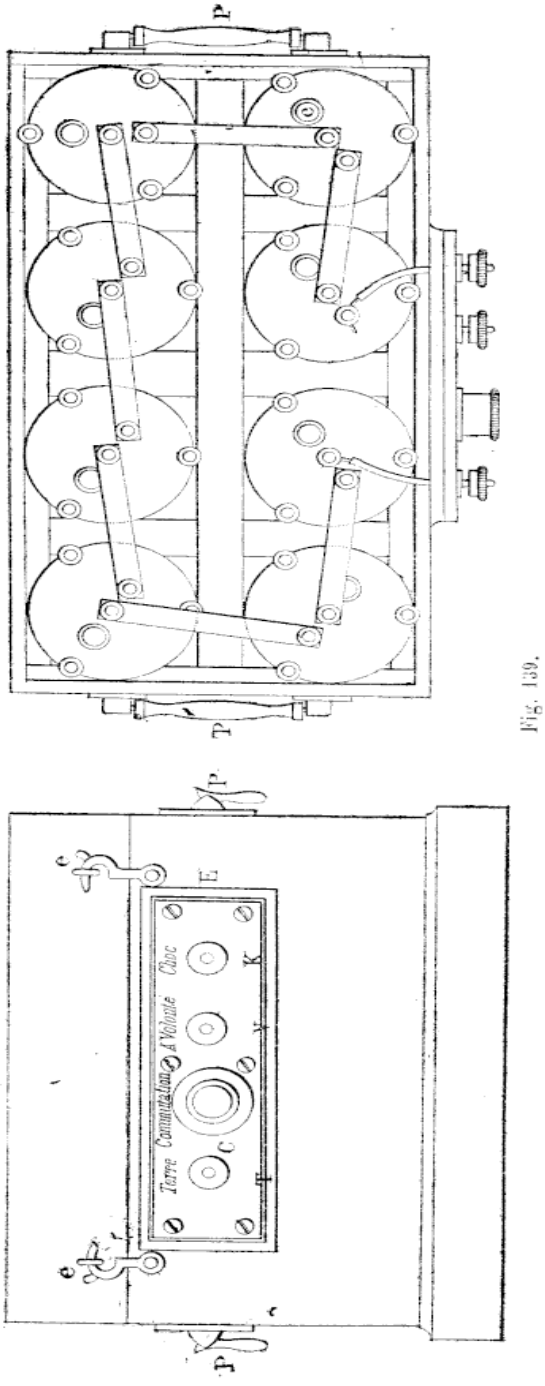


Fig. 139.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour charger un couple Leclanché, on verse dans le vase en verre une dissolution saturée de chlorhydrate d'ammoniaque. Le vase doit être rempli un peu plus qu'aux deux tiers. Le couple peut rester monté très longtemps, à la condition qu'on y remette de temps en temps du chlorhydrate d'ammoniaque et qu'on renouvelle l'eau qui s'est évaporée.

Dans cette pile, la polarisation n'est pas complètement évitée ; et la force électromotrice décroit vite quand le circuit extérieur offre une faible résistance.

Le couple Leclanché à plaques agglomérées présente le grand avantage de ne rien consommer à circuit ouvert, et de reprendre par le repos ses qualités premières. Il est par suite d'un emploi très commode pour des services intermittents, comme la télégraphie, les sonneries, la téléphonie.

§ 627. **Pile à oxyde de cuivre de MM. de Lalande et Chaperon**. — Au pôle négatif est une tige de zinc ; au pôle positif se trouve de l'oxyde de cuivre mis en contact avec une lame de fer ou de cuivre.

Le liquide excitateur est une solution de potasse caustique. Le circuit étant fermé, l'eau est décomposée, le zinc s'oxyde et forme avec l'alcali un zincate de potasse. L'hydrogène réduit l'oxyde de cuivre, et le métal se précipite.

Cette pile ne donne lieu à aucune réaction en circuit ouvert. La force électromotrice de l'élément est de 0,8 à $0^{volt},9$. La transformation de la potasse en zincate fait peu varier la résistance de l'élément, qui possède par cela même une constance remarquable.

FONCTIONNEMENT DES PILES

§ 628. **Tableau des constantes des piles**. — Le tableau suivant nous donne les constantes des piles généralement employées dans le service des défenses sous-marines.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

NATURE DE LA PILE	FORCE électromotrice en volts, minima	INTENSITÉ en court circuit en ampères, minima	RÉSISTANCE intérieure en ohms, maxima
Pile vigilante Poggendorff.	$2 \times n$ (*)	8	$0{,}25 \times n$
Pile Leclanché à agglomérés { d'inflammation. . . .	$1{,}4 \times n$	3	$0{,}47 \times n$
Pile Leclanché à agglomérés { télégraphique	$1{,}4 \times n$	1	$1{,}4 \times n$

(*) n représente le nombre d'éléments associés en tension.

Ainsi la pile vigilante de 30 éléments, servant à la défense des passes, aura au moins une force électromotrice de $2 \times 30 = 60$ volts ; l'intensité du courant, en court circuit, sera d'au moins 8 ampères ; la résistance intérieure s'élèvera au plus à $0{,}25 \times 30$ ou $7^{ohms},5$.

La pile d'inflammation, modèle 1880, de 8 éléments Leclanché à agglomérés, en service à bord des navires, aura une force électromotrice minima de $1{,}4 \times 8$ ou 11,2 volts, et donnera un courant en court circuit d'au moins 3 ampères. La résistance intérieure de cette pile sera au plus $0{,}47 \times 8$ ou $3^{ohms},76$.

§ 629. **Vérifier le montage d'une pile.** — Une pile étant récemment montée, ses constantes doivent avoir au moins les valeurs indiquées par le tableau ci-dessus.

Pour vérifier la force électromotrice couramment, on se servira d'un volt-mètre. On fixera aux bornes de l'instrument deux bouts de fil, et avec les extrémités libres on touchera les pôles de la pile.

Pour avoir l'intensité en court circuit, on se servira d'un ampère-mètre que l'on disposera de la même façon, mais en employant deux bouts de fil d'un gros diamètre.

La résistance intérieure sera calculée en divisant la force électromotrice par l'intensité.

Si la vérification de la pile est faite en vue d'une recherche de laboratoire, il sera bon d'employer des appareils plus précis que les volt-mètres et les ampère-mètres ordinaires. Les appareils de Thomson seront alors d'une grande utilité.

Dans toutes les piles, quand elles sont abandonnées à elles-mêmes pendant quelque temps, on voit la force électromotrice diminuer, et la résistance intérieure augmenter.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans le service des défenses sous-marines, une pile vigilante (Poggendorff), au repos complet, est considérée comme ayant perdu notablement de sa puissance au bout d'une semaine. On doit, après ce temps, la remonter. Les piles Leclanché peuvent se maintenir pendant une année, à la condition qu'on les entretienne d'eau et de chlorhydrate, et qu'on ne les fasse pas trop travailler.

Il faut pouvoir vérifier rapidement si une pile montée depuis quelque temps peut encore être utilisée à un travail déterminé. Il suffit pour cela de mesurer sa force électromotrice et sa résistance intérieure, et de comparer le résultat des mesures à la force électromotrice et à la résistance intérieure que le calcul indique comme nécessaires pour l'opération en vue.

Ainsi, étant donnée l'intensité du courant qu'il faut pour faire exploser une amorce électrique dans un temps voulu ; connaissant d'autre part la résistance de cette amorce et de ses conducteurs, on peut, par la formule de Ohm, voir si l'on obtient un courant d'intensité suffisante avec la pile dont on a essayé la force électromotrice et la résistance.

La force électromotrice et la résistance intérieure se mesurent comme précédemment au moyen du volt-mètre et de l'ampère-mètre ordinaires, si l'on veut se contenter d'une approximation faible. On se servira des appareils de Thomson quand on désirera une plus grande précision.

§ 630. **Étude d'une pile.** — Pour faire l'étude complète d'une pile, il importe de procéder aux expériences suivantes :

1° Déterminer sa force électromotrice et sa résistance intérieure aussitôt après son montage. Ces opérations exigeant une grande précision, on se servira pour la force électromotrice de la méthode de Fechner, par exemple (§ 593). La résistance se mesurera par la méthode de Thomson, comme nous l'avons décrit § 586.

2° Examiner la façon dont la pile se comporte quand elle reste montée sans produire de courant, c'est-à-dire en circuit ouvert. On mesurera la force électromotrice et la résistance intérieure à intervalles de temps réguliers jusqu'à épuisement de la pile.

3° Constater la façon dont la pile se comporte quand on lui

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fait produire un courant par intermittences. On opérera comme précédemment, en mesurant de temps en temps la force électromotrice et la résistance, la pile étant fermée à intervalles de temps réguliers pendant un temps donné sur un circuit extérieur tel qu'elle produise une intensité déterminée. On exécutera plusieurs séries d'observations en faisant varier l'intensité, le temps pendant lequel le circuit reste fermé, et celui qui s'écoule entre deux fermetures successives.

4° Vérifier les changements dans la puissance de la pile quand elle fonctionne d'une manière continue pendant un temps déterminé. On forme un circuit comprenant la pile, un ampère-mètre de Thomson et une caisse de résistances variables. Ce circuit doit toujours rester fermé, sauf au moment de la mesure de la force électromotrice. On débouche une résistance telle qu'on obtienne l'intensité pour laquelle on veut essayer la pile. On note à intervalles de temps réguliers l'intensité du courant ; et de temps en temps on ouvre le circuit pour mesurer la force électromotrice, ce qui se fait en réunissant les deux pôles d'une manière constante aux deux bornes du galvanomètre qui doit donner la force électromotrice, et en intercalant un interrupteur. Il suffira d'ouvrir le premier circuit et de presser sur cet interrupteur pour mesurer rapidement la force électromotrice. La mesure faite, on refermera le premier circuit.

Connaissant à un moment donné la force électromotrice de la pile et l'intensité du courant qu'elle fournit dans un circuit de résistance connue, on en déduira la résistance intérieure.

On exécutera plusieurs séries d'expériences en faisant varier le courant initial fourni par la pile, et l'on étudiera sa diminution de puissance dans les différents cas.

L'étude ainsi conduite permettra de déterminer le temps pendant lequel une pile peut fournir un courant d'intensité déterminée, sans que sa puissance devienne trop faible pour le service qu'on réclame d'elle.

Cette question est importante dans le service des défenses sous-marines, où les piles peuvent rester fermées pendant un certain temps sur un circuit plus ou moins résistant. Quand, par exemple, il y a dénudation des conducteurs, il faut que l'on sache si cette perte de courant affaiblit rapidement la pile, et si l'on doit réparer tout de suite l'avarie du circuit.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ACCUMULATEURS OU PILES SECONDAIRES

§ 631. **Théorie.** — Les accumulateurs n'ont pas encore reçu d'applications bien nombreuses dans la marine; nous ne nous étendrons donc pas beaucoup sur ce sujet; nous nous bornerons à en indiquer la théorie et à décrire les dispositions le plus généralement adoptées.

Cet appareil est basé sur les phénomènes de polarisation que nous avons décrits (§ 615). Quand on soumet de l'eau acidulée à l'électrolyse, l'oxygène se porte à un pôle et l'hydrogène au pôle contraire. Mais ces deux gaz sont soumis à une force de polarisation qui tend à les rapprocher. Si donc on supprime le courant électrolytique, cette force de polarisation s'exerce et donne lieu à un courant en sens contraire du premier. On conçoit que si l'on parvient à accumuler les deux gaz en quantité suffisante aux électrodes, on constituera une provision de force électromotrice, et l'on formera une véritable pile.

Dans le fonctionnement de ces appareils, il y a deux périodes distinctes. Il faut d'abord soumettre le bain à la décomposition: c'est la *charge*. Pendant la seconde phase, la force de polarisation est utilisée : c'est la *décharge*.

§ 632. **Accumulateur Planté.** — La première solution de ce problème a été trouvée par M. Planté. Son appareil se compose de deux lames de plomb enroulées concentriquement, et maintenues à une certaine distance l'une de l'autre par deux bandes de caoutchouc. Elles baignent dans de l'eau contenant 1/10 d'acide sulfurique et renfermée dans un vase en verre. Chaque lame est munie d'une borne placée sur un couvercle en ébonite.

Les deux bornes étant reliées aux pôles d'une pile Bunsen de deux éléments, l'eau est décomposée; la lame positive de plomb, c'est-à-dire celle qui communique avec le pôle positif de la pile primaire, se charge d'une couche brune de peroxyde (PbO^2), et l'hydrogène se porte sur la lame négative. On cesse l'opération quand on voit de l'oxygène se dégager en bulles au pôle positif.

Lorsqu'on ferme le circuit de cette pile secondaire, le peroxyde de plomb se réduit à l'état d'oxyde (PbO), et forme du sulfate avec l'acide de la liqueur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si l'on soumet la pile secondaire à une nouvelle charge, les mêmes faits recommencent d'une façon identique ; mais l'attaque est plus profonde sur la lame positive ; la quantité de peroxyde est plus grande que la première fois et la provision d'électricité se trouve plus considérable. Après que l'élément a été soumis à une succession semblable de charges et de décharges, il est *formé*. On peut le conserver pendant plusieurs jours sans qu'il perde sa charge, et on l'emploie comme une pile ordinaire. Les éléments s'accouplent en tension ou en quantité suivant les effets qu'on veut produire. La forme en spirale des électrodes donne au couple une grande surface sous un volume restreint ; et les deux lames étant fort rapprochées sans interposition de corps étranger, la résistance intérieure est très faible.

L'intensité du courant de décharge décroît lentement si le circuit extérieur présente une grande résistance ; dans le cas contraire, elle diminue très vite.

La force électromotrice, au moment de la formation, est de $2^{volts},53$; deux minutes après, elle est de $2^{volts},10$ et pendant les deux tiers de la décharge, on a $2^{volts},02$.

La quantité d'électricité est naturellement proportionnelle à la surface de plomb : c'est ce qui explique la forme en spirale que Planté a donnée à ses lames.

Une disposition de la pile secondaire Planté est représentée (fig. 140). Elle contient 20 éléments rangés en deux lignes. Un

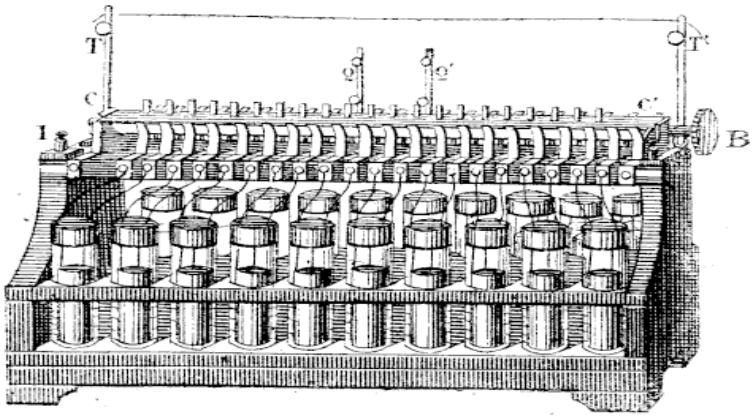


Fig. 140.

commutateur C C' permet de les grouper. Dans la première position, toutes les lames paires sont réunies entre elles, et de même

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour les lames impaires. On a ainsi assemblé les vingt éléments en quantité. Dans la seconde position, obtenue en tournant le commutateur de 90°, les éléments sont associés en tension.

C'est dans la première position que se fait la charge. La décharge s'opère dans une position ou dans l'autre, suivant qu'on désire de la quantité ou de la force électromotrice.

Un élément secondaire est d'autant meilleur qu'il a été chargé et déchargé un plus grand nombre de fois. Au commencement, quand il est presque neuf, il y a avantage à polariser les lames, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, et à renverser plusieurs fois le sens de la charge. Mais quand il est formé, il faut avoir soin de le charger toujours dans le même sens. Autrement on consommerait en pure perte l'énergie de la pile primaire, pour réduire l'oxyde de plomb qui pourrait rester sur une lame et pour oxyder l'autre lame.

§ 633. **Accumulateur Faure.** — La formation d'un accumulateur est très longue; il faut quelquefois plusieurs mois avant qu'une lame soit suffisamment recouverte de peroxyde et l'autre de plomb spongieux. Aussi a-t-on imaginé beaucoup de moyens pour diminuer la durée de cette opération. M. Faure, au lieu de déposer l'oxyde de plomb par voie électrolytique, a imaginé de le fixer mécaniquement. Ses éléments comprennent deux lames de plomb enroulées en spirale, comme celles de Planté; mais, avant l'enroulement, les lames sont recouvertes toutes les deux d'une couche épaisse de minium en pâte, et séparées l'une de l'autre par des feuilles de feutre qui servent à les isoler et à maintenir le minium. Le liquide est de l'eau acidulée par l'acide sulfurique. La période de formation est ainsi abrégée; mais le feutre crée une résistance, et cette matière en se décomposant peut donner lieu à des contacts. Le minium n'est pas assez adhérent au plomb; il est susceptible de se détacher par places, et alors le plomb se couvre en ces points de sulfate insoluble qui empêche le courant de passer.

§ 634. **Accumulateur Faure-Sellon-Volckmar.** — Cet accumulateur est formé par des lames de plomb parallèles, alternativement positives et négatives, et plongées dans de l'eau acidulée par l'acide sulfurique. Les lames sont percées de trous que l'on

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

remplit de minium (Pb^3O^4) sur la plaque positive, et de litharge (PbO) sur la plaque négative. La litharge se réduit en plomb spongieux pendant la charge.

L'avantage de ce système est de supprimer le feutre et de rendre l'oxyde de plomb plus adhérent au métal. Le tout est contenu dans une boîte rectangulaire en bois goudronné. La formation de cet élément exige à peu près cent heures.

§ 635. **Charge. Rendement. Capacité.** — Pour charger des éléments de petite dimension, comme ceux de Planté, on peut se contenter de piles. Mais, pour les accumulateurs d'un grand volume, il faut employer des machines. Si l'on fait usage de dynamos, on doit éviter de mettre les électro-aimants dans le circuit principal, parce que l'on est exposé à voir les pôles s'intervertir, comme nous le verrons en parlant de ces machines (§ 642).

Il vaut donc mieux employer une dynamo à excitation indépendante. La force électromotrice va en augmentant dans les accumulateurs au fur et à mesure de leur formation, et elle est nulle au commencement. La force électromotrice de la machine pourrait donc être trop forte dans le début, et l'intensité trop élevée. Aussi l'on interpose dans le circuit des résistances qu'on fait varier à volonté. Des ampère-mètres et des volt-mètres indiquent l'intensité et la force électromotrice.

Il résulte d'expériences faites au Conservatoire des arts et métiers, en janvier 1882, sur des accumulateurs Faure, que le travail extérieur fourni pour la décharge n'est que 0,60 de celui qui a été consommé pour la charge.

Le chiffre de 0,62 a été observé en octobre 1883 par MM. Monnier et Guitton sur l'accumulateur Faure-Sellon-Volckmar.

On peut donc prendre environ 0,60 comme chiffre de rendement en travail des accumulateurs.

Une question fort importante dans les accumulateurs est de savoir le travail total qu'ils peuvent fournir par kilogramme de plomb, après avoir été complètement chargés. C'est ce qu'on appelle leur *capacité*. Cette donnée est très intéressante surtout quand il s'agit de traction ou de navigation, parce qu'elle permet d'évaluer le poids mort que l'on doit transporter. En dehors du poids, la question de l'encombrement a encore une importance qu'on ne peut négliger.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Des essais faits par MM. Monnier et Guitton sur la pile Faure-Sellon-Volckmar, ont donné par kilogramme de plomb 3.200 à 4.000, soit, en moyenne, 3.600 kilogrammètres, c'est-à-dire que 75^{kg} de plomb correspondent à 1 cheval-heure. A ce chiffre, il faut ajouter le poids du liquide et de la boîte.

Ce fait montre la difficulté qu'il y a à employer ces accumulateurs pour la traction. Le poids mort est trop considérable, et cet inconvénient se fait encore plus sentir quand il s'agit de la propulsion des bateaux pour des traversées de longue durée.

Le rendement que nous avons indiqué plus haut (60 p. 100) doit encore être diminué du travail perdu par le moteur et par la dynamo employés à la charge.

Ces considérations expliquent pourquoi les accumulateurs ne sont pas encore devenus des appareils tout à fait industriels. Ils ne sont vraiment applicables que lorsqu'on dispose par moments d'un excès de force motrice ; on peut l'employer à la charge des batteries secondaires, que l'on utilise ensuite aux heures voulues. Les accumulateurs permettent d'emmagasiner la force excédante sous forme d'électricité ; et, dans ce cas, ils peuvent rendre de grands services, parce qu'ils constituent une provision d'électricité dont on peut se servir en cas d'accident d'une machine.

§ 636. **Accumulateur Commelin, Desmazures et Baillehache.** — Cet accumulateur, qui a été inventé tout récemment, diffère de ceux que nous avons décrits en ce que le plomb n'entre pas dans sa composition. Les plaques positives sont en cuivre poreux ; les plaques négatives sont formées de feuilles de tôle étamée ; le liquide est une solution de zincate de soude ou de potasse additionnée de chlorate.

Pendant la charge, le zincate est décomposé ; le zinc se précipite sur la plaque de tôle négative, tandis que le cuivre s'oxyde, et la soude reste dissoute dans le liquide. L'accumulateur se trouve donc constitué par de l'oxyde de cuivre et du zinc baignant dans une dissolution de soude. C'est une véritable pile à oxyde de cuivre du système de Lalande et Chaperon (§ 627).

Dans la pratique, on obtient les plaques de cuivre en comprimant le métal pulvérulent sous une pression de 600 à 1.200^{kg} par centimètre carré. L'élément est renfermé dans une caisse close en tôle étamée, dont le fond supporte les électrodes néga-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tives, et qui, par suite, ajoute sa surface à celles des électrodes. Les électrodes positives sont enfermées dans des cloisons en papier parcheminé pour éviter les dépôts de cuivre sur les plaques de zinc; ces cloisons sont maintenues par des baguettes de verre verticales.

D'après M. Reynier, la capacité est d'environ 8.200 kilogrammètres par kilogramme (plaques, liquides et récipient compris), ce qui représente un poids de 33^{kg} par cheval-heure.

Suivant les inventeurs, le rendement en *quantité*, c'est-à-dire le rapport de la quantité d'électricité fournie pendant la charge à celle que donne la décharge est voisin de l'unité: Ceci tient à ce que l'électrolyse des zincates alcalins se fait sans dégagement de gaz et donne un dépôt compact et adhérent.

Mais le rendement en *force électromotrice* est moins avantageux. D'après M. Reynier, la force électromotrice de la charge étant de 1^{volt},02, celle de la décharge atteint seulement 0,78, soit 65 p. 100 de rendement. Ainsi le rendement en énergie serait au plus de 65 p. 100, chiffre peu supérieur à celui que fournissent les accumulateurs au plomb.

Les résultats ci-après ont été observés par M. Zédé. Il s'agissait de mettre en mouvement, au moyen d'une batterie d'accumulateurs Commelin, Desmazures et Baillehache, un moteur électrique destiné à un bateau sous-marin, dont nous parlerons plus loin (§ 663).

Le poids total des accumulateurs représentait 9.840^{kg}. La force électromotrice de la charge a été de 1 volt; celle de la décharge 0,75. Le rendement en quantité s'est élevé à 0,865. L'énergie recueillie est donc $0{,}865 \times 0{,}75 = 0{,}65$ de l'énergie produite; et le poids d'accumulateur par cheval-heure réalisé est de 37^{kg}. Il est à remarquer que le lendemain les accumulateurs, sans avoir été rechargés, ont fourni encore plusieurs heures de travail à différentes allures. Ces chiffres s'accordent donc sensiblement avec ceux que nous avons énoncés ci-dessus.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

6E PIE. — CHAPITRE VI

MACHINES ÉLECTRIQUES

CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

Dans les machines électriques, le courant est produit en utilisant les phénomènes d'induction que nous avons exposés § 554. C'est en déplaçant un circuit dans un champ magnétique qu'on donne naissance au courant. Ce champ magnétique peut être produit par un aimant permanent ou par un électro-aimant; de là la distinction des machines en deux catégories : *magnéto-électriques* et *dynamo-électriques*, que dans le langage courant on appelle simplement *magnétos* et *dynamos*.

Pour exposer la théorie de ces machines, nous prendrons comme type celle de Gramme.

§ 637. **Théorie de l'anneau Gramme**. — L'anneau Gramme est formé d'un anneau en fer doux, autour duquel sont enroulées des bobines de fil de cuivre distinctes placées à côté l'une de l'autre. Cet anneau, muni de ses bobines, tourne dans le sens des flèches 1, 1′ en face des pôles d'un aimant NS, comme le représente la figure théorique 141. Sous son action, le fer doux s'aimantera et prendra deux pôles N′, S′ opposés à ceux de l'aimant. Nous aurons donc toujours deux champs magnétiques NS′, N′S fixes ; et les choses se passeront comme si, l'aimant et l'anneau restant immobiles, les bobines seules se déplaçaient dans le sens des flèches.

Considérons l'une des bobines ; et plaçons un observateur les pieds en p et la tête en t, de manière à ce qu'il regarde dans le sens positif des lignes de force f, f', qui entourent la ligne NS′, c'est-à-dire que l'observateur se trouvant en pt aura ici la tête

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en bas. La rotation du fil se faisant vers sa gauche, le courant, d'après la règle que nous avons indiquée (§ 554), entrera par sa tête et sortira par ses pieds dans la direction *tp*. Tant que la la bobine marchera dans le demi-cercle supérieur AS'B, le même sens subsistera pour le courant induit, puisque les lignes de force conservent la même orientation.

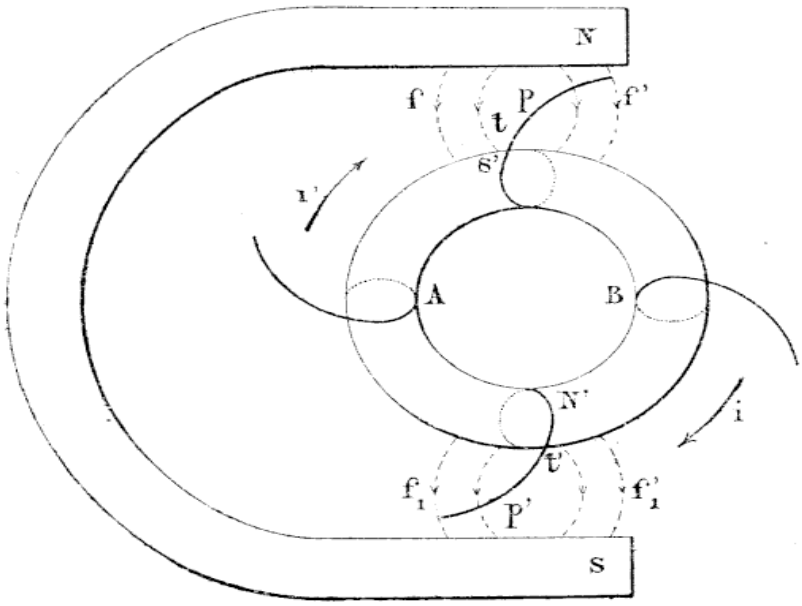


Fig. 141.

Si, au contraire, la bobine se meut dans le champ magnétique N'S, en conservant le même sens de rotation, l'observateur ayant sa tête en *t'* et ses pieds en *p'*, et restant tourné comme il l'était précédemment, regarde maintenant dans le sens négatif des lignes de force ; le courant entrera donc par ses pieds et sortira par sa tête suivant *p' t' ;* et le même sens du courant subsistera tant que la bobine se déplacera dans le demi-cercle inférieur BN'A.

En résumé, on a donc dans les demi-cercles AS'B et AN'B deux courants de sens contraire ; et aux deux intersections du plan diamétral AB, deux zones *neutres* dans lesquelles il n'existe aucun courant. L'intensité partant de 0 augmente, jusqu'à ce qu'elle atteigne un maximum dans la ligne des pôles ; puis elle décroit, jusqu'à ce qu'elle revienne à 0 dans la zone neutre.

Si l'on considère maintenant toutes les bobines qui entourent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'anneau, on voit que le même raisonnement leur est applicable. Toutes celles qui sont en face du pôle N sont parcourues à la fois par un courant direct, et celles de l'autre moitié sont traversées par un courant inverse.

Si nous rattachons les bobines entre elles de façon que la fin de l'une soit reliée au commencement de la suivante, comme l'indique schématiquement la figure 142, nous totaliserons tous les courants produits dans chaque moitié de l'anneau.

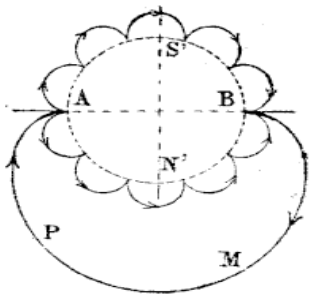


Fig 142.

Si maintenant aux deux zones neutres AB nous faisons aboutir les extrémités d'un circuit MP, les deux courants s'ajouteront en quantité pour circuler dans le conducteur.

§ 638. **Description de l'anneau Gramme.** — Nous représentons (Pl. XXIII, fig. 1) un anneau Gramme dénudé en partie et coupé transversalement, pour en mieux démontrer la structure. Le noyau de fer est formé d'un faisceau annulaire en fils de fer doux. Sur ce noyau sont enroulées les bobines en fil de cuivre isolé. La fin de chaque bobine et le commencement de la suivante s'attachent à une pièce radiale qui constitue une lame du *collecteur*. Ces lames se prolongent en dehors de l'anneau, sont séparées entre elles par une matière isolante, et reposent sur un moyeu en bois à travers lequel passe l'arbre. L'ensemble de ces lames forme le collecteur. C'est, comme on le voit, une série de secteurs cylindriques isolés l'un de l'autre, et formant le prolongement des bobines. Pour recueillir le courant, il suffit d'appliquer un contact métallique sur chacun des secteurs correspondant à la zone neutre.

Dans ce but, on emploie les *balais*. Ce sont deux ressorts de fils métalliques que l'on appuie sur le collecteur, et qui sont attachés à des bornes constituant les pôles de la machine. La fig. 2 montre la disposition des balais dans la machine *type d'atelier*.

EXCITATION DES ÉLECTRO-AIMANTS

§ 639. **Classification des machines suivant les modes d'excitation.** — Dans la théorie de l'anneau Gramme

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

que nous venons de développer, nous avons supposé un champ magnétique inducteur, sans dire comment il était produit. C'est que la théorie reste la même, quels que soient les moyens employés pour donner naissance aux deux pôles de l'aimant. Mais cette question a une grande importance suivant les applications auxquelles les machines sont destinées.

Le champ magnétique peut être produit par un aimant permanent ; c'est le cas des machines *magnétos*.

Si le champ magnétique est engendré par des électro-aimants, la machine est appelée *dynamo*.

La source d'électricité qui alimente les électro-aimants d'une dynamo peut être prise en dehors du courant produit par la machine même : l'excitation est alors *indépendante*. Si le courant de la machine même sert à alimenter les électro-aimants, la machine est dite *auto-excitatrice*. Enfin, ce dernier type se divise en deux classes suivant que le courant total circule dans les électro-aimants, ou suivant qu'il n'en passe qu'une dérivation. Les premières machines sont dites à *excitation simple* ou en *série ;* les secondes sont à *excitation dérivée*. Au surplus, l'amorçage du système se fait grâce à la petite quantité de magnétisme rémanent que possède en propre tout noyau d'électro-aimant.

Nous allons voir les avantages et les inconvénients de chaque système. Posons d'abord les lois suivantes qui régissent la production de l'électricité dans les machines :

La force électromotrice induite est proportionnelle à l'intensité du champ magnétique, à la longueur du fil des bobines induites et à la vitesse de rotation.

§ 640. **Magnétos**. — Les magnétos, qui sont excitées par des *aimants permanents*, offrent cet avantage que leur force électromotrice est à peu près proportionnelle à la vitesse de rotation. Toutefois, la différence de potentiel entre les bornes de la machine varie naturellement avec la résistance du circuit extérieur. Elles ont l'inconvénient d'exiger des dimensions plus grandes que les dynamos, parce que, à proportions égales des pièces, l'aimantation permanente de l'acier n'atteint pas le même degré que l'aimantation temporaire du fer doux.

§ 641. **Dynamos**. 1° *Excitation indépendante*. — Dans ce système, comme dans les magnétos, la force électromotrice n'est

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pas influencée par les changements de résistance du circuit extérieur. L'intensité du champ magnétique dépend uniquement du courant excitateur, que l'on peut régler à volonté ; mais il est nécessaire d'avoir une machine excitatrice séparée.

§ 642. 2° *Excitation en série.* — Avec ce mode d'excitation, la force électromotrice diminue quand la résistance du circuit extérieur augmente, la vitesse étant supposée constante. En effet, l'augmentation de résistance amoindrit l'intensité du courant, et, par suite, l'intensité du champ magnétique. La force électromotrice de la machine s'affaiblit alors juste quand la résistance du circuit augmente, c'est-à-dire au moment où l'on a besoin d'un accroissement.

En outre, cette disposition a l'inconvénient de ne rien produire tant que la rotation n'atteint pas une certaine vitesse, ou que la résistance du circuit n'est pas inférieure à une limite déterminée.

Enfin elle est sujette aux renversements de polarité, quand on l'emploie à des décompositions électrolytiques ou à la charge d'accumulateurs.

§ 643. 3° *Excitation en dérivation.* — Avec ce système, un accroissement de résistance dans le circuit extérieur produit, au contraire, une augmentation de la force électromotrice. Car l'intensité augmente dans la dérivation, et le champ magnétique devient plus puissant. Cette machine n'est pas sujette aux renversements de polarité.

§ 644. 4° *Excitation en double circuit.* — En combinant ces deux modes d'excitation des dynamos, on est arrivé à obtenir, avec une machine marchant à vitesse fixe, soit une différence de potentiel, soit une intensité constantes. Dans un éclairage électrique, l'une ou l'autre de ces conditions est nécessaire. En effet, les lampes sont toujours disposées en série, ou en dérivation. Dans le premier cas, il faut une intensité constante ; dans le second cas, une différence de potentiel constante. Voici comment ce double problème peut être résolu.

Sur les électros d'une machine (fig. 143), enroulons deux circuits, l'un étant celui même de la dynamo, et l'autre provenant d'une machine excitatrice indépendante ; la force électromotrice produite peut se décomposer en deux :

E_1 provenant de l'excitation indépendante, E_2 produite par le pas-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

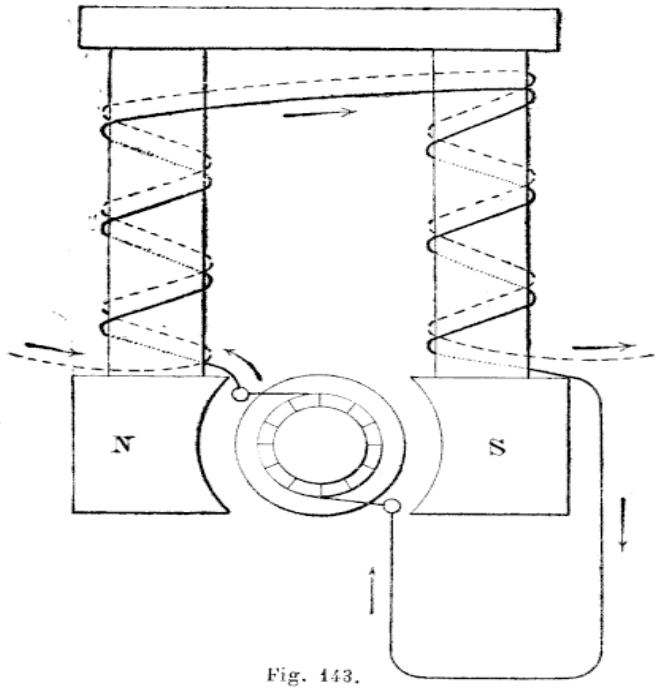


Fig. 143.

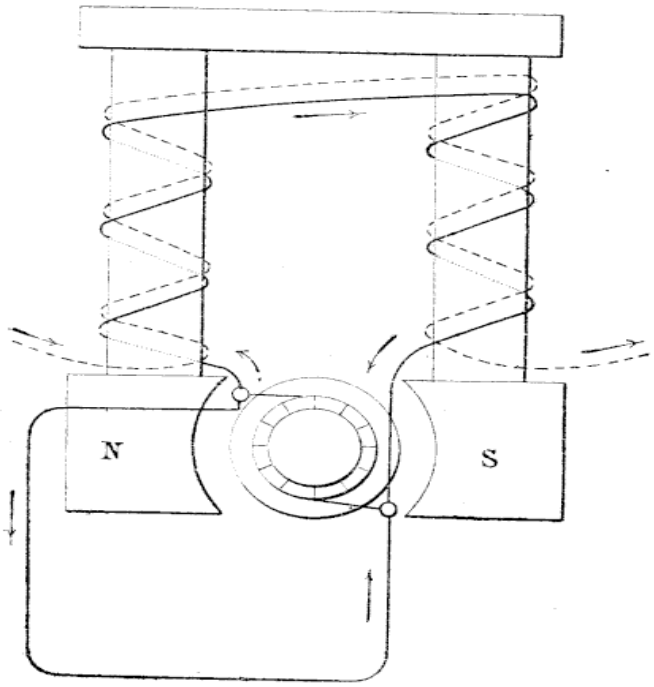


Fig. 144.

sage du courant dans les électros. Soient I l'intensité du courant, R la résistance extérieure, r la résistance intérieure de la machine; on peut écrire

$$(1) \quad \frac{E_1 + E_2}{I} = R + r.$$

Réglons la vitesse de la machine de manière que

$$(2) \quad \frac{E_2}{I} = r.$$

On aura

$$(3) \quad \frac{E_1}{I} = R.$$

Comme E_1 est constant, en faisant varier la résistance extérieure, l'intensité seule variera, et la force électromotrice de la machine ne changera pas. Avec ce mode d'excitation en double circuit, on obtient donc une différence de potentiel (§ 597) constante aux bornes de la machine, quand elle tourne à une certaine vitesse. Cette vitesse est déterminée expérimentalement de façon à satisfaire à l'équation (2).

Adoptons maintenant la disposition de la figure 144, dans laquelle,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en outre de l'excitation indépendante, les électros sont excités, non plus par le courant même de la machine, mais par une dérivation de ce courant. On obtient un courant d'intensité constante ; et la force électromotrice seule varie avec la résistance du circuit extérieur pour une vitesse donnée de la machine.

En résumé, la double excitation par le courant lui-même et par un courant indépendant correspond à un éclairage où les lampes sont distribuées en dérivation. La double excitation par courant indépendant et circuit dérivé convient à une disposition de lampes en série. Dans les deux cas, une fois la vitesse de la machine déterminée, on peut lui faire produire la différence de potentiel ou l'intensité nécessaire en modifiant l'intensité du courant excitateur indépendant.

§ 645. 5° *Dynamo compound*. — Dans ce système, l'excitation est produite en partie par le courant principal et en partie par une dérivation prise sur les balais de la machine (fig. 145). Elle participe aux avantages des deux systèmes séparés.

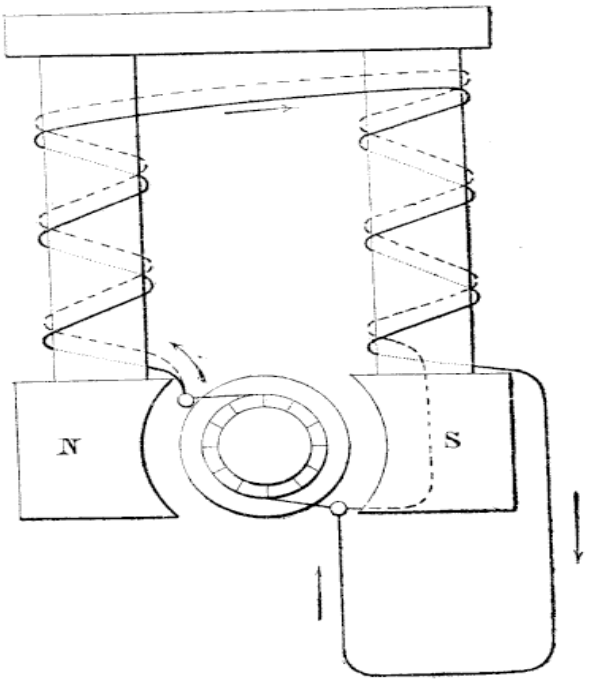


Fig. 145.

Si les spires en dérivation sont peu nombreuses et ont une grande résistance, de manière à produire une faible aimantation, la différence de potentiel est à peu près constante. Si, au contraire, la dérivation a une grande puissance d'aimantation, la machine convient mieux à la production d'un courant d'intensité constante. Quoi qu'il en soit, chaque cas exige une certaine vitesse critique appropriée aux dispositions de la machine. Cette vitesse uniforme est absolument indispensable à sa bonne marche ; et plus une machine est *autorégulatrice*, plus elle est sensible aux variations de vitesse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le mode d'excitation joue un rôle important dans l'éclairage. Si l'on a, par exemple, des lampes disposées en dérivation, il est indispensable que l'allumage ou l'extinction de l'une d'elles ne fasse pas varier la force électromotrice ; sinon, les autres lampes sont exposées soit à donner une lumière insuffisante, soit à se brûler. Cette constance de la force électromotrice peut être obtenue avec une machine quelconque, pourvu qu'on fasse varier à temps sa vitesse d'après les indications du volt-mètre. Mais cette manière de procéder est peu pratique et exige une attention continuelle. On peut encore y parvenir en remplaçant les lampes qui sont éteintes par des résistances équivalentes. Ce moyen n'est pas non plus d'une application très commode. En outre, les bobines s'échauffent, et leur résistance se modifie ; les lampes sont ainsi exposées à varier d'éclat.

Les constructeurs ont donc cherché à établir leurs machines de telle façon que, une fois la vitesse du moteur déterminée et maintenue constante, la fixité de la lumière fût assurée, quelles que fussent les variations dans le nombre des lampes. Nous venons de voir comment ce problème peut être résolu.

§ 646. **Machines multipolaires**. — Nous avons supposé jusqu'à présent que la machine possédait seulement deux pôles. Dans certains modèles on les dispose en plus grand nombre, et on les place deux par deux aux extrémités d'un même diamètre. Cette disposition permet de diminuer le nombre de tours. Car les bobines induites subissent, dans chaque champ magnétique, une action analogue à celle que nous avons décrite ; l'effet se trouve donc multiplié par le nombre de pôles. Il faut mettre autant de paires de balais qu'il y a d'aimants dans la machine.

MACHINES A COURANTS ALTERNATIFS

§ 647. **Définition**. — La machine Gramme que nous avons décrite § 637 produit des courants qui ont toujours le même sens. Les machines de cette espèce sont dites *à courant continu*. Cette propriété est due, comme nous l'avons vu, à la disposition du collecteur qui ramène à un sens unique les courants de direc-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tions contraires qui se produisent dans chaque moitié de l'anneau. Dans d'autres modèles de machines, les courants sont recueillis sans être redressés ; ils changent de sens chaque fois qu'une bobine passe d'un champ magnétique à un autre. On a alors une machine *à courants alternatifs*.

§ 648. **Machine de Wilde**. — Comme exemple des machines de cette espèce, nous prendrons celle de Wilde. Le champ inducteur fixe se compose de deux bâtis verticaux portant chacun une couronne d'électro-aimants fixes, disposés de telle sorte que leurs pôles soient opposés les uns aux autres et que les pôles successifs de chaque couronne soient alternés (fig. 146). Dans l'espace

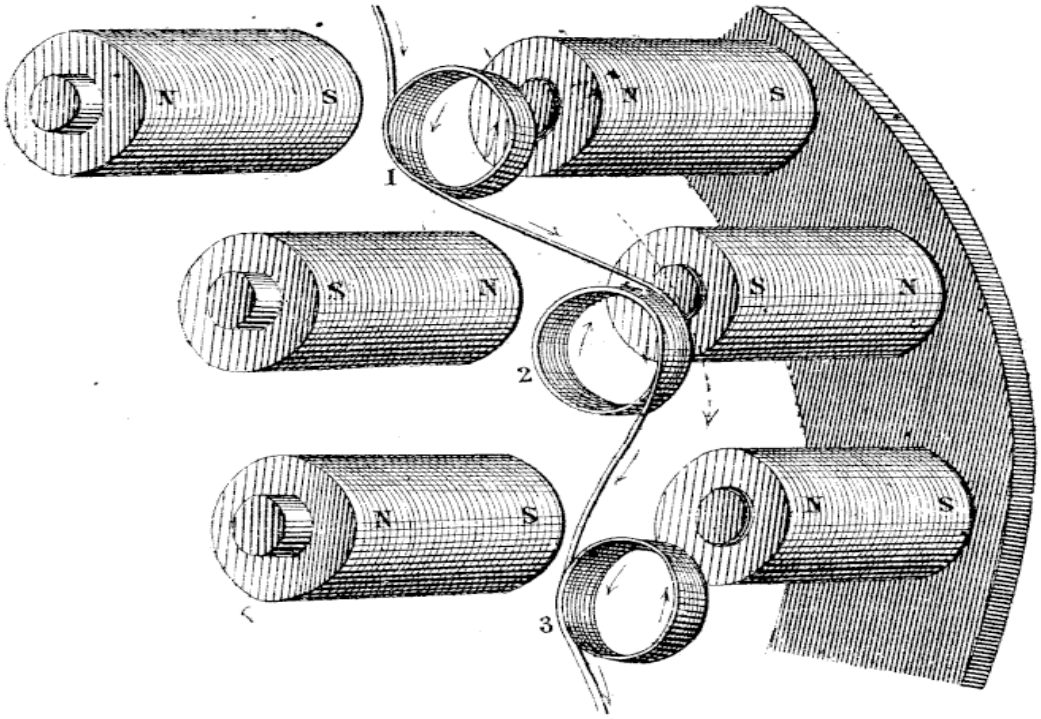


Fig. 146.

intermédiaire passe l'anneau constitué par un disque portant à sa périphérie des bobines dont les axes sont parallèles à l'axe de rotation. Les lignes de force étant dirigées en sens contraire dans deux champs magnétiques consécutifs, les bobines mobiles

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sont parcourues par des courants de sens contraires quand elles passent d'un champ à un autre ; et ces bobines étant reliées entre elles, comme l'indique la figure, les courants produits dans chacune d'elles s'ajoutent. A chaque passage dans un champ magnétique, il y a inversion de courant ; et à chaque inversion il se produit un courant général d'un seul et même sens dans tout l'anneau.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA CONSTRUCTION DES ÉLECTRO-AIMANTS ET DES ARMATURES

§ 649. **Courants de Foucault.** — Foucault a démontré que quand une masse métallique se meut dans un champ magnétique, il s'y produit des courants induits ayant une direction perpendiculaire à celle du mouvement. Le même fait se produit dans les dynamos, où l'anneau en fer de l'armature (1) et les noyaux de l'électro-aimant sont en mouvement réciproque ; et la production de ces courants particulaires constitue une perte de travail. Pour les diminuer, on forme les pôles des électros avec des lames métalliques superposées de manière à ce que la masse soit coupée par des plans perpendiculaires aux courants de Foucault. L'anneau de l'armature, pour le même motif, est fait de fils de fer isolés enroulés en cercle.

Afin d'utiliser autant que possible l'intensité du champ magnétique, les pôles des électro-aimants sont disposés de manière à embrasser une grande partie de la circonférence de l'armature.

§ 650. **Calage des balais.** — Dans la théorie développée § 637, nous avons admis que les deux pôles N′,S′ (fig. 147) de l'armature (1) se trouvaient exactement en face des pôles de l'électro-aimant. En réalité, ils sont toujours placés sur une ligne nS faisant dans le sens de la rotation un certain angle avec la ligne théorique. C'est que le fil induit, quand il est parcouru par des courants, agit lui-même comme un aimant. S'il était seul, il transformerait l'anneau de fer doux en deux aimants ayant leurs pôles communs en P et Q. L'ensemble de ces

(1) Dans les machines électriques, on désigne souvent sous le nom d'*armature* l'ensemble comprenant l'anneau mobile et les bobines induites.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

actions, produit une déviation résultante, et la ligne des pôles se trouve placée définitivement en nS. Les balais doivent donc être *calés suivant un certain angle*. Cet angle dépend de la relation qui existe entre l'intensité du champ magnétique et l'intensité du courant dans l'armature; il est donc variable. Ainsi, il convient d'adapter aux dynamos une disposition permettant de modifier la position des balais sur le collecteur, de manière à les mettre en contact avec le diamètre de commutation. Sinon, il se produit des étincelles aux points de contact, et dans une partie des sections une portion du courant est employée en pure perte à vaincre une force contre-électromotrice.

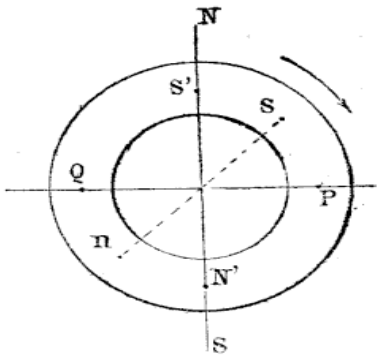


Fig. 147.

Les balais doivent être placés aux deux points de la circonférence qui correspondent respectivement aux potentiels le plus élevé et le plus bas. Pour éviter une interruption de courant, les balais touchent à la fois plusieurs lames du collecteur. Il y a là une cause de perte d'énergie. En effet, quelques bobines se trouvent ainsi fermées en court circuit par le balai qui réunit leurs deux extrémités; il se produit donc une décharge. C'est ce qui donne lieu aux étincelles qu'on remarque dans les points du contact. L'inconvénient n'est pas très grand, parce que dans cette partie de l'anneau les différences de potentiel entre les lames successives sont assez faibles.

Les points de contact entre le collecteur et les balais doivent être aussi nombreux que possible pour diminuer les étincelles. Dans ce but, les balais sont faits soit en fils étirés, soit en lames minces disposées parallèlement.

PUISSANCE DES MACHINES

§ 651. **Travail. Rendement.** — Le travail d'une machine s'évalue au moyen de sa force électromotrice E et de l'intensité I du courant; on applique la formule

$$T = \frac{EI}{9{,}81} \text{ kilogrammètres.}$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Or dans une machine nous ne pouvons mesurer directement que la différence de potentiel V aux bornes ; mais on peut calculer E si l'on connait la résistance intérieure r de la machine, car on a

$$E = V + Ir.$$

Le *rendement électrique* d'une machine est le rapport entre le travail mécanique consommé et l'énergie électrique produite. Le travail mécanique se mesure par un dynamomètre de transmission. Le rendement est généralement très élevé dans les machines actuelles, il atteint 90 et quelquefois 95 p. 100.

Une partie de l'énergie électrique est absorbée par la résistance de la machine et se transforme en chaleur, on l'exprime par

$$\frac{rI^2}{9,81} \text{ kilogrammètres.}$$

Le travail disponible est donné par

$$T = \frac{VI}{9,81} \text{ kilogrammètres.}$$

DESCRIPTIONS DE TYPES USITÉS DE DYNAMOS ET DE MAGNÉTOS

Les modèles de machines électriques sont très nombreux, mais les différences qui existent entre eux ne sont pas toujours très grandes. Nous nous bornerons à décrire ceux qui possèdent quelque particularité constituant un type spécial, sans nous attarder à la description détaillée de tous les organes qui n'offrirait pas un grand intérêt.

§ 652. **Machine Gramme, type d'atelier.** — La Pl. XXIII, fig. 2, représente le type A dit *d'atelier*, qui est très fréquemment adopté. L'inducteur est formé par le bâti même de la machine ; il se compose de deux électro-aimants montés vis-à-vis l'un de l'autre, de manière à mettre en face les pôles de même nom. Ils s'épanouissent en une masse de fonte qui embrasse l'armature sur la plus grande partie de la circonférence. L'axe unique de la machine porte l'anneau, le commutateur et la poulie de transmission ; les balais sont reliés au bâti.

L'anneau est construit comme nous l'avons dit § 638 : il

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est très solide, et présente toutes garanties au point de vue du fonctionnement ; mais il a un inconvénient, c'est que les parties du fil des bobines situées vers l'intérieur de la circonférence ne sont pas soumises à l'action des électro-aimants, qui n'agissent que sur les parties externes ; il y a donc une certaine longueur du fil qui ne sert à rien pour la production des courants. Nous verrons comment cet inconvénient a été évité par l'enroulement du fil dans la bobine Siemens (§ 656).

Voici quelques données sur les différents types de machine Gramme. Le type d'atelier consomme 3 chevaux à une vitesse de 900 tours, et peut alimenter un régulateur Gramme à arc de 500 carcels ou 25 lampes à incandescence Edison de 16 bougies. La machine n° 1 absorbe 65 chevaux, et alimente 21 régulateurs Gramme ou 500 lampes Edison. Le type n° 2 consomme 35 chevaux pour 12 régulateurs Gramme ou 300 lampes Edison.

§ 653. **Machine Gramme compound.** — La Pl. XXIII, fig. 3, nous montre la disposition d'une machine Gramme à enroulement compound, construite pour l'éclairage électrique. La forme des électro-aimants diffère de celle qui est représentée fig. 2. C'est afin d'en augmenter la puissance tout en diminuant le poids. Nous n'avons pas à revenir sur les avantages de l'enroulement compound dont nous avons parlé § 645.

Ce modèle a été adopté pour l'éclairage électrique de plusieurs navires ; citons entre autre le *Japon*, où la dynamo est actionnée directement par un moteur Mégy.

§ 654. **Machine Gramme duplex à enroulement compound.** — La dynamo duplex comporte deux paires de pôles. L'induit se meut dans un double champ magnétique. Chaque champ agit sur la portion de la bobine qui le traverse, indépendamment de l'action égale qu'exerce à la fois l'autre champ magnétique. Il en résulte que, si l'on compare cette duplex à une dynamo ordinaire ayant même bobine tournante et même intensité de champ magnétique, à vitesse égale la duplex donnera un nombre d'ampères doubles avec même force électromotrice, ou bien elle fournira même nombre d'ampères et même force électromotrice avec la moitié de la vitesse de la dynamo.

Il est à remarquer que ce résultat est obtenu sans augmentation de poids ; la duplex est même plus légère qu'une dynamo de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

même puissance tournant à vitesse double, à cause du mode de construction de ses électro-aimants. Le champ magnétique est formé par une chaîne continue de quatre électro-aimants à âme en fer doux s'assemblant et se fermant l'un sur l'autre. Les bâtis en fonte qui constituent une partie importante du poids des dynamos sont supprimés dans la duplex.

Les électro-aimants sont à double enroulement, le fil fin formant l'excitation en dérivation, et le gros fil étant placé dans le circuit extérieur.

Pour le démontage, toute la partie supérieure de la machine peut être enlevée, de manière à permettre en quelques instants le remplacement de l'arbre et de sa bobine.

Cette dynamo, à la vitesse de 350 tours, peut donner avec une chute de potentiel constante de 66 volts aux bornes, depuis 1 jusqu'à 150 ampères, et alimenter de 1 jusqu'à 225 lampes de 10 bougies, le travail absorbé variant proportionnellement au nombre de lampes allumées.

La Pl. XXIII, fig. 4, nous représente l'ensemble d'une machine Gramme duplex et de son moteur, pilon à vapeur compound de 20 chevaux, tels qu'ils sont installés pour l'éclairage électrique du cuirassé l'*Indomptable*. Nous décrirons plus loin (§ 686) l'éclairage de ce navire.

§ 655. **Machine Gramme à courants alternatifs.** — Dans ce modèle (Pl. XXIII, fig. 5) l'armature est fixe ; elle a la forme d'un cylindre creux, sur lequel s'enroulent les bobines séparées. A l'intérieur du cylindre sont huit électro-aimants inducteurs portés par l'arbre moteur et disposés suivant les rayons, de façon que les pôles qui se suivent soient alternés.

Ce mode de construction supprime le collecteur et les balais. Mais le principe de la production des courants est toujours le même ; car il est dû au déplacement relatif des inducteurs et des induits. Ce système nécessite l'emploi d'un courant excitateur. Dans les premiers modèles, ce courant était produit par une machine indépendante. Cette complication a été supprimée ; dans les modèles les plus récents, où l'excitateur est monté sur le même axe que la machine principale, le courant excitateur est conduit par deux balais à deux cercles isolés l'un de l'autre et fixés à l'arbre. De là il est transmis aux bobines.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Cette machine à courants alternatifs peut être employée pour alimenter les bougies Jablochkoff.

§ 656. **Machine Siemens**. — Comme nous l'avons fait remarquer § 652, l'anneau Gramme a le défaut de ne pas utiliser toute la longueur du fil des bobines à la production des courants induits. MM. Siemens ont combiné leur armature de manière à ce que tout le fil fût soumis à l'action des électros ; et l'enroulement est fait pour ne pas présenter de parties internes.

L'armature a l'aspect d'un cylindre assez allongé, et le fil est placé seulement à l'extérieur. Il forme huit bobines ; et, comme dans l'anneau Gramme, les sections sont reliées entre elles d'une façon continue, c'est-à-dire que la fin d'une section et le commencement de l'autre aboutissent à un même segment du collecteur. Dans le schema (1) figure 148, les huit sections sont, pour plus de

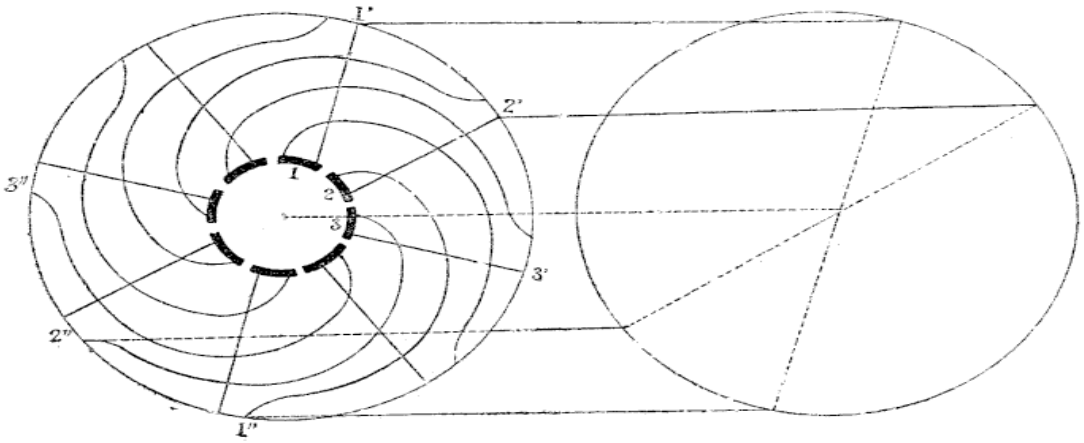


Fig. 148.

simplicité, réduites chacune à un seul tour de fil. En partant du segment 1, par exemple, le fil vient en 1′ suivant une ligne droite ; il longe alors la génératrice du cylindre ; puis, traversant l'autre base du cylindre, il arrive en 1″, et de là il se rend au segment 2 par un contour. Il en est de même pour les bobines suivantes.

Les armatures Siemens ordinaires comportent huit tours de fil par segment ; le fil, après être arrivé en 1′, forme huit lignes le long du cylindre avant de rejoindre la seconde lame du collecteur.

Sur l'arbre sont assujettis, à l'aide de forts rayons, deux tour-

(1) Le *schema* d'un appareil en général s'entend de la représention de cet appareil réduit à ses lignes principales ; il en est le *squelette* et en constitue un dessin théorique.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

teaux en bronze, entre lesquels on enroule une feuille de tôle mince fixée à des épaulements. Autour de cette carcasse, est enroulée perpendiculairement à son axe une masse de fil de fer constituant l'âme. Des entailles pratiquées sur les bords des tourteaux en nombre égal à celui des bobines, reçoivent de petites séparations en bois pour faciliter l'enroulement du fil des bobines. La figure 149 montre le mode de construction.

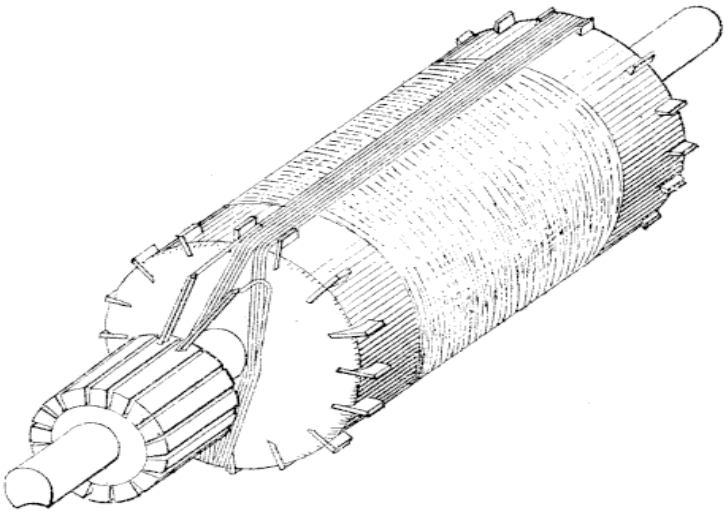


Fig. 149.

Les électros sont formés d'une série de noyaux en fer forgé, cintrés en leur milieu pour livrer passage à l'armature, et reliés à leurs extrémités par une entretoise.

Dans les premiers modèles, ils étaient disposés horizontalement (Pl. XXIII, fig. 6). Pour les types récents, on a adopté la disposition verticale (Pl. XXIII, fig. 7). Dans toutes ces machines, les noyaux cintrés des électros sont démontables; leurs bobines sont roulées sur des carcasses en tôle à joues de laiton et insérées sur les noyaux avant leur réunion par les entretoises.

Quand ces machines sont destinées à alimenter des lampes à incandescence, elles ont l'enroulement compound. Trois dispositions ont été essayées. Les bobines en série et en dérivation ont été d'abord montées séparément sur quatre branches des électros (les bobines semblables tantôt du même côté de l'armature par rapport à la ligne neutre, tantôt en diagonales); puis on a essayé de les enrouler sur des carcasses séparées de demi-hauteur,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et de les monter deux à deux, l'une en gros fil, l'autre en fil fin sur chaque branche. Enfin, dans des modèles plus récents, l'enroulement en série de gros fil est extérieur à l'enroulement en dérivation de fil fin. Avec ces systèmes la régulation n'était pas encore parfaite. Le meilleur résultat a été obtenu dans une machine DSD[17], où deux des branches des électros étaient recouvertes de bobines en dérivation comportant 29 couches de fil de 1 millimètre, et les deux autres 2 couches de fil de 3,5 millimètres. La différence de potentiel variait de 64 à 69 volts quand le nombre des lampes était réduit de 20 à 9. Ces résultats ont été encore surpassés ; et il a été construit des machines où la différence de potentiel ne varie pas de 1 p. 100 quand on passe d'une seule des lampes au nombre maximum qu'elles peuvent alimenter.

Voici quelques données sur les différents types des machines Siemens :

Le type DSD[00], à la vitesse de 200 tours, donne 200 ampères et 100 volts, et alimente 300 lampes de 2 carcels ;
Le type DSD[7], à 1.250 tours, produit 50 ampères et 52 volts, et alimente 40 lampes de 2 carcels ;
Le type DSD[5], à 1.600 tours, donne 26 ampères et 52 volts, et alimente 20 lampes de 2 carcels.

§ 657. **Machine Siemens à courants alternatifs.** — Cette machine est basée sur la théorie que nous avons développée (§ 648) ; elle est représentée Pl. XXIV, fig. 1. Les électros sont excités par une machine indépendante Siemens à courant continu, qu'on voit à gauche du dessin.

En ce qui concerne l'armature, les bobines sont roulées sur des noyaux en bois, et tout à fait dépourvues de fer, pour éviter l'échauffement dû aux aimantations et désaimantations successives. Elles sont maintenues entre deux flasques de maillechort, perforées afin d'aider à la ventilation et, par suite, au rafraichissement de l'armature. Les bobines de l'armature peuvent être groupées de différentes manières, pour obtenir des courants de grande intensité ou de forte tension. Les deux bouts du fil induit aboutissent respectivement à une bague métallique formant un collecteur, où frotte un balai.

Les électros sont constitués par des barres en fer rondes, sur lesquelles s'enroule le fil inducteur ; il sont fixes et disposés en deux rangées de façon que les pôles successifs soient de noms

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

contraires. Ce sont les bâtis qui leur servent de montures ; ceux-ci se trouvent aussi évidés pour la facilité de la ventilation.

§ 658. **Machine Edison.** — Cette dynamo à courant continu (Pl. XXIV, fig. 2), présente une armature cylindrique analogue à celle de Siemens ; et son collecteur ne diffère pas de celui de Gramme. Les électro-aimants ont des dimensions très grandes. Ils sont formés de deux bobines verticales réunies en haut par une forte culasse en fer. En bas, ils se terminent par deux blocs très lourds entre lesquels tourne l'armature. Celle-ci présente cette particularité que le nombre de ses segments est impair. De sorte que les balais étant diamétralement opposés, ne passent pas simultanément d'une bobine à une autre ; et ils ne peuvent jamais en mettre qu'une à la fois en court circuit.

La machine Edison étant destinée à alimenter des lampes à incandescence disposées en quantité, doit présenter peu de résistance intérieure. Aussi le fil de l'armature est-il remplacé par des barres de cuivre à section trapézoïdale ; et l'ensemble s'apelle *bobine Edison*. Les extrémités des barres sont reliées transversalement par des disques de cuivre isolés entre eux, et portant des oreilles auxquelles les barres se soudent. La figure 3 montre ce système de connexion. Le nombre des segments formant le collecteur est de 49 ; et chaque disque est relié à un de ces segments. Le courant engendré dans une barre supérieure AB, par exemple, traverse le disque BC de droite, puis revient par la barre inférieure CD au disque DE de gauche. La même circulation se continue par la barre EG.

Le modèle qui alimente 100 lampes de 16 bougies absorbe 13 chevaux de force, et produit 75 ampères et 110 volts. La vitesse est 1.200 tours.

Le type de 400 lampes tournant à 800 tours consomme 52 chevaux, et produit 300 ampères avec 110 volts.

§ 659. **Machine magnéto de M. de Méritens pour le service des phares.** — Dans la machine construite par M. de Méritens pour les phares (Pl. XXIV, fig. 4), l'induction est produite par des bobines en fil de cuivre enroulé autour d'un noyau en fer doux, et tournant devant les pôles d'aimants fixes. L'inducteur comprend quarante aimants en fer-à-cheval, et l'induit est formé de quatre-vingts bobines. Ces bobines sont disposées sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cinq anneaux en bronze portés par l'arbre de couche. Chaque anneau est donc muni de seize bobines. Huit aimants sont disposés autour de chacun des anneaux, de telle façon que leurs pôles s'alternent. Toutes les bobines sont enroulées dans le même sens, et elles sont réparties en deux circuits égaux comprenant chacun dix groupes de quatre bobines. Les quatre bobines d'un même groupe sont accouplées en tension. Le bout extérieur de la première se rattache au bout extérieur de la seconde ; le bout intérieur de la seconde est lié au bout intérieur de la troisième ; enfin le bout extérieur de la troisième s'attache au bout extérieur de la quatrième.

Quand une bobine s'approche du pôle nord d'un aimant, la suivante s'approche d'un pôle sud ; les courants d'induction simultanément produits dans deux bobines consécutives se trouvent donc de sens contraire ; et, grâce au mode de groupement indiqué ci-dessus, ils s'ajoutent ensemble.

Dix groupes semblables sont reliés en quantité, pour former un circuit comprenant ainsi quarante bobines, dont les effets se réunissent. Les deux circuits ainsi obtenus peuvent, du reste, être assemblés en tension ou en quantité.

Chaque fois qu'une bobine s'éloigne d'un pôle, après s'en être rapprochée, le courant se trouve renversé ; l'on obtient donc des courants alternatifs aux bornes de la machine. Chaque tour de l'induit produit seize courants partiels dans chaque circuit, deux courants partiels successifs étant de sens contraire.

Les aimants sont placés en E, E,..., (vues 1 et 2). Chacun d'eux est formé de huit lames en acier d'Allevard ayant la forme d'un fer-à-cheval ; les lames ont 10^{mm} d'épaisseur, et elles sont serrées par des écrous entre de petites plaques c (vues 3 et 4) enfilées sur une tige filetée d. Les aimants sont adaptés à un cadre rectangulaire en bronze F ; et les tiges d sont fixées au moyen d'écrous dans des bossages d' qu'elles traversent, et qui sont venus de fonte avec les cadres F. Ceux-ci pouvant être déplacés par des vis dans les fentes où ils sont logés, on peut à la fois régler cinq aimants en position.

Les cinq anneaux induits sont montés sur l'arbre b (vues 1 et 2). Ils sont formés chacun d'une roue en bronze G (vues 5 et 6) présentant à sa circonférence seize saillies g de forme trapézoïdale. Entre ces saillies se logent seize bobines H maintenues par des boulons e. L'âme des bobines est formée de quatre-vingts lames

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de tôle douce de 1^{mm} d'épaisseur, découpées à l'emporte-pièce. Le fil de cuivre a $1^{mm},9$ de diamètre.

Deux bagues en bronze *i* (vue 9), montées sur une douille d'ébonite *j*, constituent un collecteur ; les balais *k*, assemblés sur des lames de ressort, frottent sur les bagues *i*, et sont en communication avec les bornes K, K (vues 7 et 8), qui sont isolées de leur support AK′, et auxquelles aboutissent les fils du circuit. Deux collecteurs semblables sont montés sur l'arbre.

Remarque. — La machine Méritens donne une grande régularité de courant. Les inducteurs sont absolument invariables ; et, même avec une certaine différence dans la vitesse du moteur, la lumière de la lampe reste fixe. Aucun échauffement ne se produit dans les paliers ni dans les anneaux mobiles.

En outre, la construction en est très simple ; et les réparations se font aisément, les pièces avariées pouvant être remplacées sans difficulté.

Dans la magnéto, le collecteur est formé d'une simple bague, que le mécanicien peut changer lui-même. S'il arrive une avarie à une bobine, il suffit de l'enlever et de la remplacer par une autre. Avec une dynamo, au contraire, un pareil accident exige le démontage de l'anneau et son renvoi à l'atelier.

C'est pour ces raisons que la machine Méritens a été adoptée pour le service des phares. Il est indispensable que dans ce service les accidents soient aussi rares que possible, et que le gardien puisse faire seul la réparation.

Parmi les phares qui sont pourvus des machines Méritens, citons, en France, ceux de Planier, Dunkerque, Calais, La Canche ; en Angleterre, ceux de Lizard, South-Foreland, Sainte-Catherine.

FONCTIONNEMENT DES MACHINES ÉLECTRIQUES

§ 660. **Constantes**. — Le constructeur indique généralement pour une machine d'un type déterminé les constantes de son fonctionnement, c'est-à-dire :

1° La vitesse de rotation normale ;

2° L'intensité du courant produit dans un circuit déterminé ;

3° La différence de potentiel aux bornes de la machine ;

4° La résistance du circuit extérieur à partir des bornes de la machine ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

5° La résistance des électro-aimants ;

6° La résistance de l'anneau induit.

Il est bon d'avoir ces constantes pour différentes valeurs de la résistance du circuit extérieur, la vitesse restant la même ; et pour différentes valeurs de la vitesse, la résistance extérieure ne variant pas. Cela peut être utile, soit qu'on veuille employer la machine pour un autre usage que celui auquel elle est destinée, soit qu'on juge bon d'en modifier la vitesse normale.

§ 661. **Épreuve de puissance**. — Pour se rendre un compte exact de la valeur d'une machine, il faut la soumettre à certaines épreuves. L'*épreuve de puissance* est destinée à vérifier les constantes de la machine, c'est-à-dire à constater si la machine fournit bien, dans les conditions de vitesse et de résistance extérieure indiquées par le constructeur, l'intensité de courant et la différence de potentiel aux bornes correspondantes.

Cette épreuve se fait en formant un circuit comprenant la machine essayée, un ampère-mètre et une résistance variable, enfin un volt-mètre en dérivation.

Pour la résistance variable on peut adopter la disposition indiquée figure 150. Un fil de maillechort forme un certain nombre de spires placées parallèlement dans un cadre en bois, et reliées entre elles ; aux points de jonction sont des bouts de fil aboutissant aux bornes B, C. Les extrémités s'attachent aux bornes A, D. Les conducteurs de la machine sont reliés l'un en A, l'autre à la borne F, communiquant à l'axe O d'un commutateur, qu'on peut amener en contact avec les différentes bornes. Suivant la position de la lame M, on introduira dans le circuit la résistance voulue.

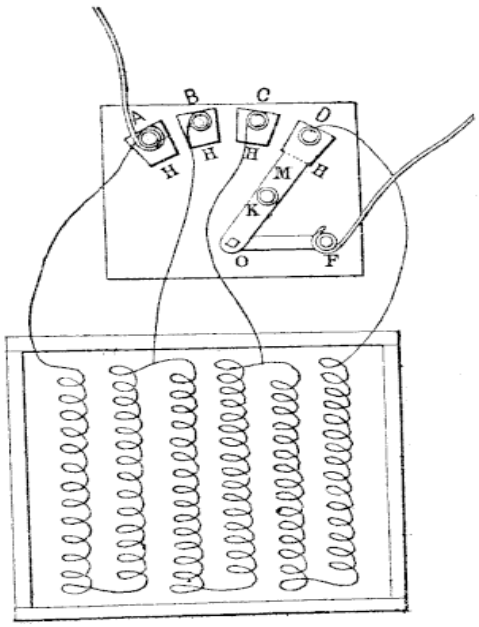


Fig. 150.

Manière d'opérer. — La résistance totale étant d'abord introduite dans le circuit, on met la machine en marche à une vitesse

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

v, la plus faible de celles qu'on veut expérimenter. Au moment où la vitesse indiquée par un compteur de tours est bien égale à v, on note simultanément les indications de l'ampère-mètre et du volt-mètre.

On répète ces observations en faisant varier la résistance intercalée dans le circuit, la machine étant maintenue à la même vitesse v. On obtient ainsi, à la vitesse v, une série de valeurs pour l'intensité du courant et pour la différence de potentiel aux bornes de la machine.

La valeur de la résistance extérieure à partir des bornes de la machine est à chaque fois exprimée en ohms, en divisant la différence de potentiel aux bornes par l'intensité du courant.

On recommence de nouvelles séries d'observations pour d'autres vitesses v', v'' ; et l'on forme un tableau tel que celui que nous donnons ci-dessous :

Tableau résumant les résultats de l'épreuve de puissance d'une machine électrique.

TYPE de la machine	RÉSISTANCE de l'induit en ohms	RÉSISTANCE des électro-aimants en ohms	VITESSE de rotation en tours par minute	INTENSITÉ du courant en ampères	DIFFÉRENCE de potentiel aux bornes de la machine en volts	RÉSISTANCE extérieure à partir des bornes en ohms	TRAVAIL électrique total par seconde en kilogrammètres
X	ϱ	ϱ'	v	I	D	$R = \frac{D}{I}$	$T = \frac{I^2(\varrho + \varrho' + R)}{9{,}81}$
				I_1	D_1	$R_1 = \frac{D_1}{I_1}$	$T_2 = \frac{I_1^2(\varrho + \varrho' + R_1)}{9{,}81}$
				. . .	. . .	. . .	. . . . .
			v'	I'	D'	$R' = \frac{D'}{I'}$	$T' = \frac{I'^2(\varrho + \varrho' + R')}{9{,}81}$
				. . .	. . .	. . .	. . . . .

Pour faciliter cette étude, on peut construire des courbes donnant graphiquement les résultats des observations. La machine marchant à une vitesse déterminée, on fait varier la résistance extérieure ; on note les valeurs correspondantes de l'intensité, que l'on porte en abscisses ; et les valeurs de la force électromotrice, que l'on porte en ordonnées. On construit ainsi une courbe qu'on appelle *la caractéristique* de la machine. Pour une vitesse donnée, cette courbe prend une forme dépendant de la construction de la machine ; elle joue le même rôle que les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

diagrammes d'un moteur à vapeur, et l'on peut à son inspection juger des qualités et des imperfections d'une machine électrique.

TRANSMISSION ÉLECTRIQUE DE LA FORCE

§ 662. **Réversibilité des machines.** — *Historique.* L'application des courants électriques à la transmission de la force ne saurait tarder à être introduite dans les arsenaux et à bord des navires. La transmission de la force par les procédés mécaniques ordinaires offre des difficultés immenses sur les bâtiments, à cause des complications de l'aménagement; et il est peu d'endroits où l'électricité pourrait être employée d'une façon plus utile. La même observation peut être faite pour les cales de construction et de réparation, où la commande des outils rencontre tant d'obstacles.

La plupart des machines électriques sont *réversibles*, c'est-à-dire qu'au lieu de fournir de l'électricité sous l'action d'un moteur mécanique, elles peuvent *vice versa* transformer l'énergie électrique en travail mécanique. Ainsi, si l'on envoie un courant dans un anneau Gramme, il se met à tourner; et ce mouvement est susceptible d'être utilisé pour produire un travail. Le courant peut, du reste, être fourni par une source quelconque d'électricité, pile, accumulateur ou machine.

En particulier, si deux dynamos sont reliées entre elles par un conducteur, et que l'on fasse tourner la première par un moteur mécanique, la seconde étant traversée par le courant se mettra elle-même en mouvement, et en sens contraire de la première. La dynamo qui produit le courant se nomme *génératrice*, et la deuxième est la *réceptrice*.

Toute la force motrice dépensée dans la génératrice ne se retrouvera pas dans la réceptrice; car une partie du travail sera absorbée par la résistance des machines et par celle du conducteur intermédiaire, où il produira une élévation de température. Le rendement variera avec l'intensité du courant, le diamètre, la longueur, la nature du conducteur et avec le mode de construction des machines.

En bien des cas, ce système de propagation de la force sera inférieur à une simple transmission par courroie. Mais on conçoit que dans certains locaux présentant des dispositions compliquées,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

il sera plus économique de relier deux dynamos par un simple fil, épousant toutes les sinuosités du sol, que de rattacher un outil à la machine motrice par des arbres se coupant suivant les angles les plus variés et placés à de grandes distances les uns des autres.

La première expérience sur la transmission électrique de la force a été faite par M. H. Fontaine, à l'exposition de Vienne en 1873. Deux machines Gramme étaient réunies par un fil de 1.100^{m} de longueur ; la génératrice était mise en mouvement par un moteur à gaz Lenoir ; la réceptrice commandait une pompe centrifuge.

La première application suivie eut lieu en 1877, à l'atelier d'artillerie de St-Thomas-d'Aquin. Deux dynamos Gramme reliées entre elles actionnaient une machine à diviser placée à 50^{m} environ de la machine à vapeur.

Une application présentant un caractère vraiment industriel fut faite, en 1878, par M. Ernest Cadiat, aux ateliers du Val-d'Osne. Il s'agissait de commander un outil placé à 150^{m} du moteur à vapeur, dans une position telle que la transmission mécanique était impossible. M. Cadiat utilisa deux machines Gramme destinées à l'éclairage des ateliers ; elles furent réunies par un fil de cuivre de 3^{mm}. Le frein de Prony indiqua sur l'arbre de la réceptrice un travail de 50^{kgm}. Depuis le jour où cette installation a été montée, elle n'a pas cessé de fonctionner ; et l'exemple a été suivi dans l'industrie.

En 1881, MM. Chrétien et Félix installèrent à Sermaize un labourage électrique. La réceptrice actionnait un treuil sur lequel s'enroulait un câble d'acier fixé à la charrue. Le rayon d'action s'étendait à 3 kilomètres autour de l'usine où se trouvaient le moteur et la génératrice.

En 1882, M. Marcel Deprez entreprit des expériences entre Munich et Miesbach. Les deux dynamos, du système Gramme, étaient éloignées de 57 kilomètres ; elles étaient reliées par un double fil télégraphique ordinaire en fer de 4^{mm},5 de diamètre. La réceptrice mettait en mouvement une pompe centrifuge. Cette expérience démontrait la possibilité de la transmission à très grande distance ; elle eut un légitime retentissement en raison de la distance relativement considérable des deux stations.

M. Deprez a fait de nouvelles expériences en février 1883 entre le Bourget et les ateliers de la compagnie du Nord situés à La Chapelle, sur une distance de 8.500^{m}. La réceptrice était une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

machine Gramme. La génératrice était d'un type particulier imaginé par M. Deprez ; elle se composait de deux anneaux tournant chacun dans un champ magnétique distinct qui présentait une grande intensité sous un volume restreint.

En août 1883, des expériences furent faites entre Grenoble et la station de Vizille, sur une distance de 14 kilomètres. Les machines étaient les mêmes que celles qui avaient servi entre le Bourget et la gare du Nord ; elles étaient reliées par un double fil en bronze silicieux de 2^{mm} de diamètre.

Enfin, M. Deprez a entrepris dernièrement, entre Creil et La Chapelle, une série d'essais. La ligne en bronze silicieux de 5^{mm} de diamètre a un développement total de 112 kilomètres et une résistance de 100 ohms.

M. Deprez se base sur l'emploi de courants à très haute tension, pour surmonter la résistance des conducteurs de faible diamètre. Ainsi à Munich la différence de potentiel aux bornes de la génératrice était de 1.343 volts. Aux expériences du Bourget, on avait 2.838 volts à la génératrice et 1.994 à la réceptrice, avec une intensité de 2,5 ampères. A Grenoble on obtenait 3.146 et 2.231 volts avec 2,82 ampères. La force électromotrice aux essais de Creil-La Chapelle a atteint 6.000 volts. Malheureusement, des différences de potentiel aussi élevées entre les bornes d'une même dynamo présentent de grandes difficultés et des dangers sérieux. Elles exigent beaucoup de prudence pour la conservation du matériel et pour la sécurité des personnes. En outre, M. Marcel Deprez emploie des machines électriques d'une construction spéciale, caractérisées par de grosses bobines à fil fin.

Les expériences de l'éminent électricien ont jusqu'ici présenté beaucoup d'intérêt au point de vue théorique. Si elles n'ont pas encore réalisé complètement la solution économique et industrielle du transport d'une grande force à une distance considérable, cela tient aux difficultées précitées qui demandent encore des recherches pour être vaincues.

M. Hippolyte Fontaine vient de faire au laboratoire de la Compagnie électrique une expérience fort intéressante, qui indique une excellente voie à suivre. Il a réalisé le transport d'une force initiale d'environ 100 chevaux, à travers une résistance de 100 ohms, avec un rendement de 52 p. 100. Il a démontré que, pour arriver à ce résultat, il suffisait de grouper convenablement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

un certain nombre de machines dynamos ordinaires tant au départ qu'à l'arrivée, au lieu de se borner à une seule machine par station. Voici comment les choses sont disposées :

Une machine à vapeur Farcot à quatre tiroirs, type 45-104, marchant à une pression de 5^{kg}, développe 95 chevaux mesurés sur la jante du volant. La puissance nominale de cette machine est de 60 chevaux; mais on peut sans inconvénient en produire 100. La vitesse moyenne est de 55 tours par minute.

Le volant, qui a 5^{m} de diamètre, actionne au moyen d'une courroie un arbre intermédiaire, qui communique le mouvement à quatre dynamos, au moyen de deux poulies et de quatre galets de friction. L'arbre de couche est placé à 6^{m} du volant; sa vitesse est de 180 tours par minute. Les poulies de commande ont $1^{m},995$ de diamètre. Les galets de friction placés sur les machines Gramme sont en papier comprimé ; ils ont $0^{m},400$ de diamètre et $0^{m},250$ de largeur. Les machines Gramme oscillent sur un axe placé au-dessous de leur socle. Cet axe est disposé de telle sorte que c'est le poids même des machines qui détermine la pression des galets contre les poulies. Un débrayage commandé par un treuil permet d'éloigner rapidement les galets ou de les amener progressivement au contact des poulies.

Tout le système générateur, poulies comprises, tient dans un espace de $3^{m},50$ sur $3^{m},70$.

Dans l'appareil récepteur, les machines Gramme sont montées sur un socle en maçonnerie, et placées bout à bout. Elles sont reliées entre elles par des manchons garnis de caoutchouc. Elles occupent une surface d'environ 7^{mc}, y compris la transmission qui reçoit le frein de Prony. Elles font 1200 tours par minute.

On a obtenu les résultats suivants :

Puissance disponible sur la jante du volant de la machine à vapeur.	95^{ch}
Id. recueillie sur la transmission actionnée par les réceptrices.	50^{ch}
Résistance des conducteurs intermédiaires cette résistance est celle d'un fil de cuivre pur de 5^{mm} de diamètre et de 124^{km} de longueur).	100^{ohms}
Force électromotrice à l'origine de la ligne conductrice.	6.700^{volts}
Intensité du courant.	8^{amp}
Rendement industriel.	52,52 p. 100

Il importe de remarquer que la force électromotrice, aussi élevée ici que dans la combinaison Deprez, offre cependant moins de danger; car elle correspond à une série de différences de potentiel réparties entre les bornes de plusieurs dynamos.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si le transport d'une grande force à une distance considérable offre de sérieuses difficultés, il n'en est pas de même quand ces deux facteurs se réduisent, et surtout lorsque la distance diminue ; de nombreuses applications faites sur une échelle plus modeste ont montré tout le parti qu'on peut provisoirement tirer de l'électricité pour les *transmissions*, c'est-à-dire pour la commande des outils. Les exemples se multiplient chaque jour ; nous nous contenterons de citer ceux qui ont quelque point de commun avec la marine.

§ 663. **Exemples de transmission électrique. Moteurs de bateaux.** — La fonderie de canons de Bourges possède depuis 1882 une grue d'une force de 20 tonnes, dont les différents treuils sont mis en mouvement séparément ou simultanément par une machine Gramme du type octogonal pouvant développer 12 chevaux. La génératrice, actionnée par la transmission générale de l'atelier, est placée à environ 300^{m} de la grue, et absorbe à peu près 20 chevaux, quand le maximum de travail utile est produit.

En 1880, une application de transmission électrique a été faite dans la fonderie d'artillerie de la marine à Ruelle. On a conduit de cette façon une petite pompe Behrens. Quand cette pompe était menée par une courroie, son débit prévu valait 90 litres. A la vitesse que lui donnait la machine Gramme, elle débitait 300 litres par minute.

En 1882, encore à Ruelle, on a fait mouvoir électriquement pendant trois semaines des ventilateurs placés à 90^{m} de la force motrice, qui était de 10 chevaux.

Citons aussi l'emploi combiné de la transmission électrique et de la transmission flexible américaine, dont nous rappellerons en quelques mots le principe. Quand on tient entre les doigts les deux extrémités d'un copeau en acier d'une longueur suffisante, et qu'on fait tourner l'un des bouts, quelle que soit, du reste, la forme qu'on laisse prendre au ruban, la rotation se transmet à l'autre extrémité ; on réalise ainsi une transmission d'une excessive souplesse. Si maintenant l'un des bouts est relié à une machine Gramme, et si l'autre est muni d'une monture de machine à percer, on obtient une transmission flexible. Car la machine Gramme peut s'installer à proximité du travail dans une position quelconque. Comme ce système s'accommode à toutes les formes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les plus compliquées des constructions, son usage se trouve naturellement indiqué dans une foule de cas, comme le perçage des trous dans les membrures, dans les tôles d'assemblage des navires en chantier, en un mot, pour tous les trous en quantité innombrables que l'on est forcé de percer sur place. La transmission électrique constitue, dans ce cas, un outil analogue à la riveuse portative Tweedel, qui reçoit l'eau sous pression d'un accumulateur par l'intermédiaire d'un tuyau flexible.

L'électricité est utilement employée pour la mise en mouvement des ventilateurs. Ces appareils sont généralement placés dans des positions fort incommodes par rapport au moteur et à des distances assez grandes ; l'emploi de l'électricité se trouve donc naturellement indiqué. Ce procédé est appliqué dans plusieurs mines ; citons la houillère de Zankerode en Saxe, et les mines de Blanzy. A l'hôtel de ville de Paris et à l'École centrale des arts et manufactures, les ventilateurs sont mis en mouvement de cette façon. La marine peut trouver là des exemples à suivre.

Comme nous l'avons dit § 662, le courant qui passe dans la réceptrice peut être produit par une source quelconque. On conçoit dès lors la possibilité de réaliser la traction électrique d'une voiture, d'un aérostat ou d'un bateau. Il suffit, par exemple, dans ce dernier cas, d'embarquer une pile ou un accumulateur dont le courant est envoyé à travers une machine électrique attelée à l'arbre du propulseur.

M. Trouvé a fait, à Paris, à l'Exposition de 1881, une expérience intéressante sur un canot électrique mis en mouvement de cette façon. Le moteur était alimenté par deux piles au bichromate que l'on pouvait à volonté employer ensemble ou séparément. Ce bateau remontait la Seine avec une vitesse de $1^{m},50$ par seconde. Le problème de la navigation électrique se trouve donc résolu en théorie.

La propulsion électrique des bateaux a le grand avantage de ne pas nécessiter de combustible, et de ne produire ni fumée ni bruit. Son application se trouverait donc tout naturellement indiquée pour les torpilleurs et les bateaux sous-marins. Mais il faut reconnaître que l'emploi des piles primaires est une solution peu économique de la question. Car les piles au bichromate sont fort dispendieuses.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On peut, il est vrai, remplacer les piles primaires par des accumulateurs. L'expérience a été faite, en 1881, sur la Tamise à bord de l'embarcation l'*Electricity*. Mais, comme nous l'avons vu § 635, le grand inconvénient a été jusqu'à présent le poids des batteries, qui, avec les accumulateurs au plomb, est toujours très considérable eu égard au travail produit.

Une solution intéressante du problème a été fournie dernièrement par les accumulateurs Commelin, Desmazures et Baillehache (§ 636). M. Zédé a essayé, aux ateliers des forges et chantiers de la Méditerranée, un bateau sous-marin qui est mis en mouvement par un moteur électrique alimenté par une batterie de ce système. Voici le résultat des expériences :

« La machine principale, qui doit actionner directement une hélice de $1^{m},50$ de diamètre, est à 16 pôles, disposés symétriquement autour de l'anneau mobile; celui-ci, de 1^{m} de diamètre, est muni d'un collecteur avec 4 balais, 2 pour la marche en avant, 2 pour la marche en arrière. Le palier de butée est porté par la machine, et le poids de l'ensemble est de 2.000^{kg} environ.

« La machine, devant fournir un travail de 52 chevaux, a été calculée pour marcher normalement avec un courant de 200 ampères et une différence de potentiel aux bornes de 192 volts.

« Le courant est fourni par des accumulateurs Commelin, Desmazures et Baillehache. La machine comprend 564 accumulateurs, pesant chacun $17^{kg},500$, soit un poids total de 9.840^{kg}.

« Le courant envoyé dans la machine est fourni par la totalité des accumulateurs, qui sont groupés de quatre façons différentes, au moyen d'un appareil spécial permettant d'obtenir quatre vitesses par la manœuvre d'une manivelle.

« Le premier groupement, petite vitesse, comprend 12 accumulateurs en surface, 47 en tension.

« Le deuxième, moyenne vitesse, 6 accumulateurs en surface (c'est-à-dire en quantité), 94 en tension.

« Le troisième, vitesse de route, 4 accumulateurs en surface, 141 en tension.

« Le quatrième, grande vitesse, 2 accumulateurs en surface, 282 en tension.

« Pour les essais, le moteur était fixé au sol et l'hélice remplacée par une turbine à eau, munie de diaphragmes de façon à opposer une résistance convenable au mouvement de rotation.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« Les accumulateurs ont été chargés, en prenant le huitième groupement, par un courant de 100 ampères, nécessitant une force électromotrice de 140 volts aux bornes. La durée de la charge a été de 23 heures; la force électromotrice a varié de 135 volts au début, à 144 à la fin.

« La charge a été prolongée au delà du temps nécessaire, parce que la plupart des accumulateurs étaient chargés pour la première fois, et qu'il y a intérêt, au point de vue pratique, à pousser la première charge jusqu'au dégagement d'hydrogène.

« La capacité totale de chaque accumulateur résultant du poids de zinc contenu dans l'appareil est de 520 ampères-heures. La charge en a fourni 575.

« La décharge sur la machine s'est opérée avec le quatrième groupement, grande vitesse. Elle a duré quatre heures et demie, et le travail aux bornes de la machine a été de 58 chevaux environ pendant les trois premières heures (206 ampères et 208 volts), de 54 chevaux pendant la quatrième (200 ampères et 200 volts). A la fin des quatre heures et demie, le travail était tombé à 47 chevaux (190 ampères et 183 volts); mais une vingtaine d'accumulateurs s'étaient déchargés en partie sur eux-mêmes par suite d'un isolement insuffisant.

« Malgré ces conditions défavorables, la décharge de quatre heures et demie avait utilisé $\frac{450}{520} = 0{,}865$ de la capacité totale des accumulateurs.

« En tenant compte de la différence entre les forces électromotrices à la charge et à la décharge, soit 1 et 0,75, l'énergie recueillie a été $0{,}865 \times 0{,}75 = 0{,}65$ de l'énergie produite. Dans ces conditions, le poids d'accumulateur (vase et liquide compris) par cheval-heure recueilli est de 37^{kg}.

« Le lendemain, sans avoir été rechargés, les accumulateurs fournissaient encore plusieurs heures de travail à différentes allures, pour les essais de changement de marche du moteur et de plusieurs appareils accessoires.

« La résistance du moteur est de $0^{ohm},16$; sa vitesse de rotation à grande vitesse est de 280 tours par minute, avec un courant de 200 à 210 ampères.

« Dans ces conditions, le champ magnétique moyen dans l'en-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

trefer est de 3.000 unités CGS; sa température atteignait 40°, après les quatre heures et demie de travail à grande vitesse. »

§ 664. **Gouvernail électrique, système Washburn.** — Le journal la *Lumière électrique* nous donne quelques détails sur un gouvernail électrique, inventé par M. Ch.-H. Washburn. Il est basé sur ce principe que, dès que le navire dévie de son chemin, la position du gouvernail est modifiée, et le bâtiment se trouve ramené dans sa route au moyen d'un mécanisme mis en mouvement par l'électricité. Voici comment ce résultat est obtenu :

Le cadran fixé à l'aiguille aimantée de la boussole, est muni d'une tige droite oscillant entre deux points d'arrêt qui peuvent être amenés en un point quelconque du compas.

La distance entre les deux points d'arrêt est très faible ; et quand le navire est en bonne voie, la tige se trouve au milieu entre les deux points ; mais dès que le navire dévie, la tige vient frapper l'un des arrêts, ferme un circuit électrique, et actionne un électro-aimant qui attire son armature. Le mouvement produit par celle-ci ouvre une soupape, qui laisse entrer de l'air comprimé dans un petit cylindre, dont le piston en se déplaçant ouvre la soupape d'un grand cylindre ; la tige du piston de ce dernier commande une chaîne attachée à la barre du gouvernail. Dès que l'air comprimé entre, le piston se déplace ; et, en attirant la chaîne, il fait mouvoir le gouvernail à droite ou à gauche, selon le point d'arrêt que frappe la tige de la boussole ; le navire tend de cette façon à être constamment maintenu dans sa route.

Le circuit électrique peut être amené à une partie quelconque du navire, que l'on gouverne ainsi de n'importe quel endroit, simplement en tournant un commutateur.

Les conducteurs électriques autour de la boussole sont naturellement doublés, de manière à n'exercer aucune influence fâcheuse sur l'aiguille.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

6E PIE. — CHAPITRE VII

LUMIÈRE ET ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUES

LAMPES A ARC

§ 665. **Arc électrique.** — La lumière est produite dans les lampes à arc en faisant passer un courant électrique intense entre deux pointes de charbon maintenues à une certaine distance l'une de l'autre. On voit apparaître entre elles un arc lumineux très brillant, qui dépend de l'intensité du courant, et qui provient sans doute de la grande résistance opposée par l'air au passage de l'électricité. Pour que l'arc prenne naissance, il est indispensable que les deux pointes soient d'abord mises en contact, afin de déterminer la fermeture du circuit; puis on les éloigne peu à peu jusqu'à une distance déterminée qui dépend de la tension du courant. Les pointes prennent alors l'aspect de la figure 151. Le charbon positif s'use deux fois plus vite que l'autre, il se creuse en forme de cratère; le charbon négatif garde sa forme pointue. Avec des courants alternatifs les deux charbons se consument également, et ils restent pointus tous les deux.

Fig. 151.

L'arc étant produit comme nous venons de le dire, il faut, pour

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qu'il se maintienne constant, que les pointes de charbon conservent entre elles la même distance pendant toute la durée de l'éclairage; et pour cela il est nécessaire de compenser à chaque instant leur usure. Plusieurs systèmes ont été imaginés pour permettre aux deux pointes de se rapprocher sans cesse, mais sans jamais arriver au contact. Nous allons les passer en revue.

§ 666. **Charbons Carré.** — Les charbons dont on se sert ordinairement aujourd'hui sont fabriqués par M. Carré, avec de la poudre de coke bien pur et du noir de fumée mélangés dans un sirop de sucre gommeux.

La pâte ainsi formée après avoir été bien triturée, est passée à la filière sous une pression de 100 atmosphères. Puis les baguettes sont soumises dans des creusets à une haute température. On les imprègne ensuite de nouveau d'un sirop concentré de sucre, et après un lavage et une dessiccation on les cuit une seconde fois; on répète plusieurs séries d'opérations semblables.

§ 667. **Lampe à main.** — Dans cette lampe (Pl. XXIV, fig. 5), fort employée pour la marine, l'arc est produit entre les pointes de deux charbons dont la distance est réglée à la main. Deux griffes C, C élastiques, en cuivre rouge, établissent le contact entre les charbons et les porte-charbons par l'intermédiaire des écrous B, B.

Le bouton H produit un mouvement de montée ou de descente du foyer lumineux, sans changer la distance relative des charbons. Le volant I commandant une double vis éloigne les charbons quand on le tourne à droite; il les rapproche si on le tourne en sens contraire. Le pas de la vis d'en haut étant double de celui d'en bas, le crayon supérieur, qui s'use deux fois plus vite, avance deux fois plus que le crayon inférieur. P, N sont les bornes d'attache des fils électriques; P n'est pas isolée du reste de l'appareil, N au contraire est isolée. Le courant traversant la masse de la lampe arrive au charbon supérieur, et par la borne N il retourne à la machine. Le charbon supérieur doit avoir une longueur double de l'autre. Il est avantageux, comme nous le verrons plus loin, de ne pas placer exactement les deux charbons dans le prolongement l'un de l'autre : avec les vis E, F qui commandent la monture A, on règle le charbon d'en haut de manière à le mettre un peu en arrière du charbon inférieur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 668. **Projecteur Mangin.** — Cet appareil (Pl. XXIV, fig. 6) sert à ramener toute la lumière en un seul faisceau que l'on peut diriger à volonté. Il se compose d'un miroir courbe A placé au fond d'un tambour en fonte. Ce dernier est fermé par une glace B portée par un cadre en bronze. Il repose au moyen des tourillons T, T′ sur une fourche verticale F F′, établie sur un socle en fonte. Le tambour tournant autour de ses tourillons peut prendre une inclinaison quelconque. On l'immobilise avec la poignée R.

Le tambour et la fourche sont mobiles sur le socle en fonte, de manière à pouvoir s'orienter vers un point quelconque de l'horizon. Le levier J sert à obtenir l'immobilisation dans ce sens.

On place la lampe dans le projecteur, en la faisant glisser sur deux consoles isolées de bronze placées en bas du projecteur. Un bouton d'arrêt pressé par un ressort et faisant partie de la console de gauche, arrête le mouvement en s'engageant dans une encoche S. Une vis qui commande ce bouton permet de donner à la lampe un léger mouvement suivant l'axe de l'appareil.

Les conducteurs de la machine se relient à deux bornes P, N placées à la base du socle. Au-dessus des bornes est un interrupteur. La lampe est mise dans le circuit au moyen de contacts disposés à cet effet.

Les glaces placées devant le projecteur sont planes ou divergentes, selon qu'on désire un faisceau cylindrique ou épanoui.

L'opérateur placé derrière le tambour a sous la main les poignées du projecteur et les vis de la lampe ; un trou percé au centre du fond et garni d'un verre coloré, lui permet d'apercevoir les bouts des charbons qui se détachent sur le fond noir formé par l'écran M que porte la lampe.

En outre, un prisme à réflexion totale muni d'un objectif, lui fournit une image latérale des charbons, et lui permet d'apprécier la position de l'arc par rapport au foyer du miroir.

Les charbons étant préalablement échauffés, l'opérateur les écarte pour former l'arc, puis avec la vis H, il centre le foyer lumineux ; au moyen du volant I il règle l'écartement des pointes. Le crayon inférieur prend une forme allongée et arrondie au bout, tandis que celui du haut présente un cratère. Il faut que ce cratère soit dirigé vers le miroir. C'est pourquoi le crayon supérieur est placé un peu en arrière de l'autre.

Les faisceaux de lumière doivent sortir du projecteur parallèle-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ment à l'axe du miroir; ce résultat obtenu, l'opérateur se tient prêt à diriger la lumière dans la direction qui lui est indiquée.

La cage est munie d'évents pour la circulation de l'air.

Dans le même circuit on ne peut disposer qu'une seule lampe de ce système, parce que les variations de l'une se feraient ressentir sur toutes les autres.

L'appareil tel qu'il est décrit ci-dessus présente quelques inconvénients. Les deux bornes P, N placées sur le socle du projecteur peuvent se couvrir d'humidité et donner lieu à des dérivations de courant.

Les deux mouvements qu'on imprime au projecteur au moyen des poignées sont un peu brusques et permettent difficilement de suivre un but mobile. Il y aurait sans doute intérêt à modifier la transmission par des roues dentées.

Quand il vente beaucoup, l'air s'engouffre par les évents et agite l'arc dans tous les sens. Les pointes se garnissent de champignons et sont entourées de flammes fort gênantes. Le faisceau lumineux devient très instable.

§ 669. **Régulateur Serrin.** — La lampe à main a le grand inconvénient d'exiger une surveillance continue. Il existe des appareils, nommés *régulateurs*, permettant le règlage automatique des charbons.

La question a été résolue par M. Serrin d'une manière fort ingénieuse. Son régulateur (Pl. XXIV, fig. 7) se compose d'une tige B à crémaillère, qui porte le charbon positif, et qui, par son poids, agit sur une série de roues dentées entrainant, par l'intermédiaire d'une chaîne à la Vaucanson, le porte-charbon négatif C. Par suite des dimensions des roues dentées et des poulies, la descente du porte-charbon positif est double de la montée du porte-charbon négatif; la différence d'usure est ainsi compensée. La descente du charbon positif est régularisée par un système d'engrenages commandant à la fois un régulateur à ailettes et un petit volant étoilé dont le rôle sera décrit plus loin.

L'écart entre les pointes est établi et maintenu à la distance voulue par un parallélogramme articulé MNPQ, qui est relié à l'armature D de l'électro-aimant A, et qui se rattache au porte-charbon inférieur. L'influence de la pesanteur sur le parallélogramme est neutralisée par deux ressorts à boudin.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le courant amené dans la masse de l'appareil par une borne traverse le charbon supérieur, l'arc voltaïque, le charbon inférieur et l'électro-aimant. Le parallélogramme est soumis à deux efforts qui se contre-balancent, son poids et la tension des ressorts. L'électro-aimant en attirant l'armature fait descendre le parallélogramme. Ce dernier est relevé par les ressorts quand le courant s'affaiblit.

Une équerre E portée par le côté mobile du parallélogramme s'engage dans la roue étoilée, de telle façon que l'abaissement du parallélogramme engage l'équerre, tandis que son relèvement la dégage. La crémaillère est arrêtée dans le premier cas ; et dans le second cas, elle est libre de descendre en provoquant l'ascension du charbon négatif.

Le bouton R sert à régler l'appareil et à maintenir l'écart correspondant au pouvoir éclairant qu'on désire. Il agit par le levier LK sur un ressort, qui fait varier à volonté la position des différentes pièces du parallélogramme et la distance de l'armature à l'électro-aimant.

Fonctionnement. — Voici comment fonctionne l'appareil. Le poids de la crémaillère met d'abord les charbons au contact. Alors le courant passe ; l'électro-aimant agit, et fait descendre le parallélogramme ainsi que le charbon inférieur, dont la pointe s'écarte de l'autre. Le cliquet, en s'embrayant, arrête le charbon positif. L'arc se produit. A mesure qu'il grandit, l'intensité du courant diminue, et l'électro-aimant s'affaiblit ; les ressorts font remonter le parallélogramme, le cliquet se déclanche, et le charbon positif descend jusqu'à ce que l'arc ayant sa longueur normale, l'intensité ait repris sa valeur correspondante. Par suite de ces alternatives qui se succèdent continuellement, les charbons sont maintenus à la distance voulue.

Ce système de régulation est fort sensible, et avec des charbons bien purs et une source d'électricité constante il donne une lumière très fixe. Si les charbons sont impurs cette sensibilité devient un inconvénient. Car ces impuretés déterminent des oscillations continuelles des charbons, qui donnent à la lumière une instabilité désagréable.

On ne peut placer dans un même circuit qu'un seul régulateur de cette espèce, à cause des électro-aimants qui sont traversés par le courant total. Supposons en effet qu'il en existe deux ; si le pre-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mier a la grandeur d'arc convenable, et que dans le second l'arc soit trop grand, l'électro-aimant de celui-ci agira pour rapprocher les charbons ; l'intensité augmentera en conséquence et deviendra trop grande pour le premier régulateur. Les deux appareils réagiront donc l'un sur l'autre, et l'on ne pourra pas les régler à la fois. Aussi ces régulateurs ne conviennent que pour les applications demandant une seule lumière, comme les phares, les fanaux.

§ 670. **Régulateur différentiel Siemens.** — Le but que l'on s'est proposé dans la construction de cette lampe est d'éviter l'inconvénient que nous venons de signaler, et de placer dans un même circuit plusieurs foyers lumineux indépendants l'un de l'autre.

Comme dans l'appareil Serrin, l'arc est réglé par un électro-aimant agissant pour faire varier la distance des charbons ; mais au lieu d'alimenter l'électro-aimant par le courant total, on n'y envoie qu'une dérivation.

La figure 152 représente dans son principe la disposition de la lampe. Les charbons sont en g, h ; le premier est fixé à un levier cc' oscillant autour du point d, et portant en c un barreau de fer doux SS′, qui pénètre dans deux bobines T, R. La bobine T a un fil très fin et une grande résistance, R un gros fil et une résistance très faible. Le courant se bifurque entre les deux bobines ; une partie traverse T, l'autre portion passe par R et par les pointes de charbon ; et les deux courants se réunissent en b au circuit principal. Chaque bobine attire le barreau SS′ d'après l'intensité du courant qui la traverse.

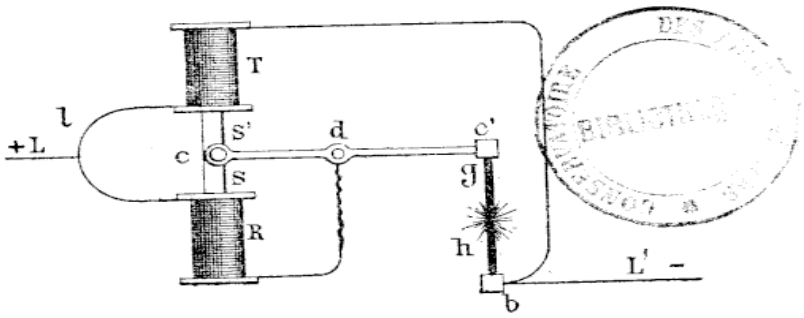


Fig. 152.

Si l'on suppose maintenant que la distance des charbons est trop grande, le courant s'affaiblissant en R augmente en T ; le barreau monte, et l'arc se trouve diminué. Si la résistance de l'arc vient à baisser, c'est la bobine R qui agit pour faire descen-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dre le barreau et augmenter la distance des charbons. Le régulateur se règle de lui-même, comme on le voit, d'après la résistance de l'arc ; et il suffit de proportionner les deux bobines suivant cette résistance.

Le courant total n'influe pas sur l'équilibre du système, comme dans la lampe Serrin. Les foyers sont indépendants, et les changements de résistance de l'un ne se font pas sentir sur les autres. On peut donc en placer plusieurs dans le même circuit. On a ainsi la faculté d'éteindre ou d'allumer des lampes sans que les autres éprouvent de variations.

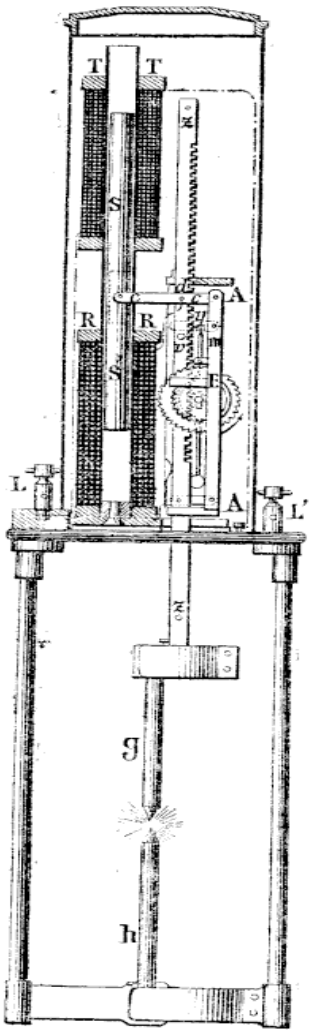


Fig. 153.

La figure 153 montre la disposition du régulateur. Tout le mécanisme est renfermé dans une boîte cylindrique placée en haut de l'appareil. Le charbon supérieur, qui seul est mobile, se trouve relié à une crémaillère *z*, dont le mouvement est réglé par une roue à échappement et un pendule. Quand l'action de la bobine R s'exerce, la crémaillère devient solidaire du levier *cc*, dont elle suit le mouvement. Quand la bobine T est prépondérante par suite de l'usure des charbons, le déclanchement se produit, et le charbon descend par son poids.

Afin de diminuer l'amplitude des mouvements, le pendule laisse échapper une seule dent par chaque oscillation, et une petite pompe à air amortit les chocs.

La bobine supérieure est susceptible de se déplacer en hauteur, de manière à embrasser une longueur plus ou moins grande du barreau de fer doux. On peut ainsi faire varier la force attractive qu'elle exerce et régler comme on veut la longueur de l'arc. Un bouton extérieur commandant une tige filetée permet d'obtenir ce mouvement de la bobine.

Comme le charbon supérieur est seul mobile, la position de l'arc n'est pas fixe, ce qui n'est pas un inconvénient dans les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

éclairages ordinaires, mais empêche l'emploi de cette lampe pour un feu fixe.

BOUGIE JABLOCHKOFF

§ 671. **Description**. — Les lampes que nous venons de décrire comportent, comme on le voit, un mécanisme plus ou moins compliqué ; elles sont assez coûteuses et exigent des soins continuels. Pour éviter ces inconvénients, on a imaginé les bougies. Plusieurs systèmes ont été inventés ; mais celle de Jablochkoff est la seule qui soit employée aujourd'hui d'une façon courante. Elle est formée de deux baguettes de charbon C,C (fig. 154), placées parallèlement à une petite distance l'une de l'autre, et séparées par une matière isolante I qu'on appelle le *colombin*. Les charbons sont fabriqués par M. Carré ; ils ont 4^{mm} de diamètre. Le colombin est formé d'un mélange par parties égales de sulfate de chaux et de sulfate de baryte, qui se moule sans difficulté sur le charbon et se volatilise par le passage du courant. Pour que le courant s'établisse et que l'allumage se fasse, le bout supérieur de la bougie a été trempé dans une pâte de charbon. Le courant s'établit par ce petit conducteur, qui se consume en peu de temps ; et l'arc se produit ensuite entre les deux baguettes à travers le colombin.

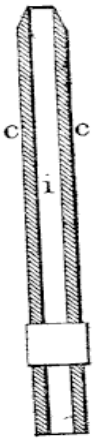


Fig. 154.

Il est important de remarquer que, avec des courants continus, l'une des baguettes se brûlerait deux fois plus vite que l'autre ; il est donc absolument nécessaire de faire usage de courants alternatifs.

Les bougies sont, comme on le voit, d'un emploi très facile. Mais elles ont l'inconvénient de durer peu de temps, et il faut souvent les remplacer. En outre, leur lumière est vacillante, sans doute à cause des défauts d'homogénéité que présente le colombin. Cet éclairage ne convient pas pour des salles de réunion, pour des ateliers de précision ; mais il est d'un emploi très commode dans les chantiers, les gares, les quais, les grands magasins. Pour amortir l'éclat des bougies, on les entoure d'un globe en verre dépoli qui absorbe une quantité de lumière assez considérable.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On a fait des expériences sur le diamètre des charbons, et il en est résulté que la bougie de 4^{mm} était la plus avantageuse. Elle éclaire d'une manière suffisante l'espace compris dans un rayon de 10^{m}, et elle absorbe le travail d'un cheval-vapeur.

§ 672. **Données relatives aux lampes à arc et aux bougies** :

DÉSIGNATION des lampes	INTENSITÉ du courant en carcels	DIFFÉRENCE de potentiel aux bornes de la lampe en volts	INTENSITÉ du courant en ampères	TRAVAIL électrique absorbé par la lampe en kilogrammètres	TRAVAIL absorbé sur la machine en chevaux
Lampe Siemens.	40	50	10	50	3/4
Bougie Jablochkoff . . .	45	42	8	33,6	1

LAMPES A INCANDESCENCE

§ 673. **Théorie.** — Toutes les lampes à incandescence actuellement employées sont basées sur le même principe ; on utilise pour produire la lumière la haute température engendrée par le passage d'un courant dans un conducteur à grande résistance. Afin de préserver ce dernier de la combustion, on le renferme dans une ampoule de verre où l'on a fait un vide aussi parfait que possible.

Beaucoup de modèles ont été imaginés : les lampes Edison, Swan, Maxim, Gérard, etc. ; mais ils ne diffèrent entre eux que par quelques détails de construction. Nous nous bornerons à décrire la lampe Edison, qui est fort employée aujourd'hui.

§ 674. **Lampe Edison.** — Le conducteur (fig. 155) est formé d'un filament très ténu de bambou du Japon, carbonisé, ayant l'aspect d'un U. Les fibres, découpées à la surface de la plante, sont disposées suivant cette forme dans deux moules plats en matière réfractaire ; on les place dans des moufles à fermeture hermétique pour empêcher le contact de l'air, et on les chauffe à une température élevée. On obtient ainsi des filaments de carbone très

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

solides doués d'une grande flexibilité et présentant une résistance considérable au courant électrique. Aux bouts des filaments sont ménagés des renflements auxquels se rattachent deux fils de platine ; ceux-ci sont contenus dans un petit tube fermé en verre au fond duquel ils sont scellés. Une couche mince de cuivre déposée galvaniquement assure la liaison des deux espèces de fils. Le système ainsi garni est placé dans une ampoule de verre, où l'on fait un vide presque absolu avec une pompe à mercure de Sprengel. Ensuite l'ampoule est réunie à un manchon en cuivre, qui lui sert de suspension et dans lequel elle est lutée avec du plâtre.

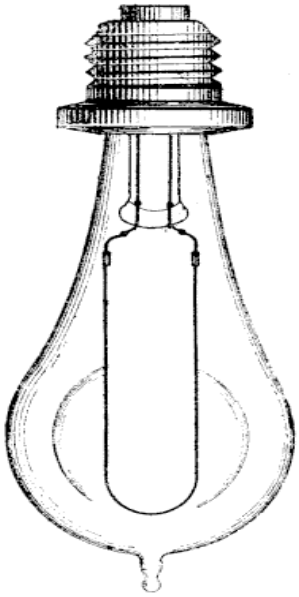


Fig. 155.

La durée de la lampe dépend beaucoup de la force électromotrice à laquelle on la soumet. Une force trop grande désagrège le filament de carbone, et il importe de ne pas dépasser les limites indiquées par le constructeur et pour lesquelles la lampe a été essayée. La durée moyenne est de huit cents heures dans les conditions normales ; mais ce chiffre a été souvent dépassé et l'on voit souvent des lampes atteindre la durée de douze cents heures.

Les lampes à incandescence se prêtent très bien à la distribution de la lumière. On peut les répartir aussi facilement que des becs de gaz. Pour les allumer ou les éteindre, il suffit de manœuvrer une clef que l'on peut placer à portée de la main. Aussi sont-elles appliquées avec grand avantage pour les salles de réunion, les théâtres, les magasins, les ateliers de précision ; elles jouent un rôle très important dans l'éclairage des navires, que nous étudierons plus loin.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 675. **Tableau des différents types des lampes Edison :**

DÉSIGNATION des lampes		POUVOIR ÉCLAIRANT		NOMBRE de volts	INTENSITÉ approxi-mative du courant en ampères	RÉSISTANCE à chaud en ohms	NOMBRE de lampes par cheval
Type	Série	Bougies	Carcels				
A	1	100	10,80	90 à 115	4,30	22	1,4
	2	50	3,40	»	2,25	44,4	2,6
	3	32	3,45	»	1,40	66,6	4
	4	16	1,72	»	0,70	135	8
	5	10	1,08	»	0,55	181,80	10,8
B	1	20	2,16	45 à 53	1,20	45,4	10,8
	2	16	1,72	45 à 59	1,50	42	8
	3	8	0,86	»	0,75	62,5	14,8
AC	1	12 à 16	1,29	23 à 28	1,60	15,7	14,8
S	1	10	1,08	63 à 74	0,75	93,3	11,3
X	1	6	0,618	28 à 33	0,90	27,1	21,6
	2	4	0,432	18 à 23	1,00	20	29,6
	3	4	0,432	13 à 18	1,50	10	26,4

INDICATIONS GÉNÉRALES

§ 676. **Précautions à prendre dans les installations de lumière.** — Pour toute installation on doit, dans la chambre des machines, disposer des appareils de mesure indiquant l'intensité du courant et la force électromotrice aux bornes de la machine. Les volt-mètres, les ampère-mètres de Deprez et de Thomson, conviennent très bien à cet usage.

Les volt-mètres sont placés en dérivation, avec un interrupteur empêchant le courant de circuler continuellement dans l'appareil. Les ampère-mètres sont disposés dans le circuit même.

La vitesse d'une dynamo doit être proportionnelle au travail à produire, et elle varie avec la résistance du circuit. Mais comme il est souvent difficile de régler cette vitesse en raison du nombre des lampes que l'on doit allumer ou éteindre, c'est-à-dire en raison de la résistance du circuit, ce qui arrive surtout lorsque la dynamo est commandée par un moteur actionnant plusieurs outils à la fois, on emploie des régulateurs de courant. Ces appareils servent à introduire dans le circuit des résistances variables suivant le travail que l'on a à produire. Le régulateur d'Edison est formé de bobines disposées comme dans une boite de résistances. Sur le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

couvercle est un cercle divisé en segments isolés entre eux et reliés aux fils des bobines. La première bobine est rattachée à l'une des bornes du régulateur ; l'autre borne est en communication avec l'axe d'une manette, que l'on peut promener sur les différents segments, et au moyen de laquelle on introduit dans le circuit les bobines que l'on veut.

Dans une installation de lumière, il est important d'écarter toute cause d'incendie. C'est qu'un conducteur peut par accident recevoir une quantité d'électricité plus forte que celle pour laquelle il a été calculé ; il se produit alors un échauffement dangereux surtout à bord des bateaux.

Pour prévenir l'incendie, on dispose sur le parcours du courant des *coupe-circuits ;* ce sont des lames de plomb dont la dimension est déterminée d'après le courant normal. Si, pour une cause quelconque, l'intensité augmente, le plomb fond, et le circuit se trouve coupé automatiquement.

APPAREILS PHOTO-ÉLECTRIQUES A BORD DES NAVIRES

§ 677. **Lampes à main.** — Nous avons donné précédemment la description de la lampe à main et de son projecteur ; cet instrument est installé de différentes façons à bord des navires. Sur ceux qui ne possèdent qu'un projecteur, ce dernier peut être conduit à deux postes placés de chaque bord aux extrémités d'une passerelle transversale munie d'un chemin de fer. Ce système occasionne des lenteurs et des complications dues au déplacement de l'appareil qui entraîne avec lui ses conducteurs électriques.

Dans le cas où il existe un projecteur de chaque bord, il est impossible de les faire marcher simultanément tous les deux avec la même dynamo, comme nous l'avons vu dans la description des lampes à arc. On ne peut donc avec une seule machine éclairer qu'un côté.

Fonctionnement. — Chaque projecteur communique avec la dynamo par un porte-voix et un timbre électrique. Dès qu'on a fait choix du fanal qu'on veut allumer, on ferme son interrupteur, on ouvre celui de l'autre fanal, et l'on donne l'ordre de mettre en marche.

Quand on arrête une lampe, il vaut mieux amener ses charbons au contact que de faire stopper la machine ; la dynamo se ralen-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tit et reste toujours prête à recommencer l'éclairage. Pour faire passer la lumière d'un bord à l'autre, on opère de la même façon. Ainsi l'arc étant établi à tribord, si l'on désire le faire passer à à bâbord, il suffit d'amener le charbon au contact à tribord et de fermer l'interrupteur de bâbord ; le circuit se partage alors entre les deux lampes, et l'on peut ouvrir l'interrupteur de tribord. La lampe de bâbord reçoit seule le courant et s'allume. On évite ainsi la rupture momentanée du circuit et l'affolement de la machine. Les changements brusques de régime produisent toujours des extra-courants fort nuisibles aux isolants.

Dans le circuit de la lampe sont intercalés un ampère-mètre et une boîte de sûreté (fig. 156). Celle-ci comprend un électro-aimant traversé par le courant, et dont l'armature tournant autour d'un axe *o* est ramenée par un ressort *g* quand l'électro-aimant n'est pas alimenté.

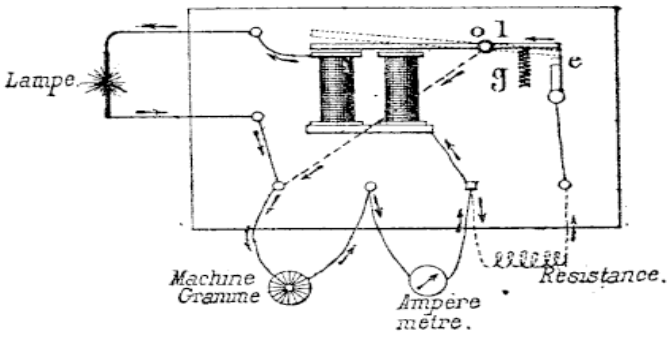


Fig. 156.

Lorsque le circuit est fermé, le courant circule comme l'indiquent les flèches en trait plein. Si le circuit vient à s'ouvrir, par suite de l'extinction de la lampe, le *l* levier se mettant en contact avec la touche *e*, le courant suit les flèches pointillées ; la résistance se trouve intercalée dans le circuit.

L'ampère-mètre et la boîte de sûreté sont contenus dans une caisse commune fermée par une glace à charnières.

Un volt-mètre est mis en dérivation au moyen de deux fils d'amorce reliant ses bornes à celles du projecteur.

§ 678. **Classification des lampes**. — Les appareils en service dans la Marine sont classés en quatre numéros :

1° L'appareil de 200 becs carcel, destiné aux embarcations à vapeur avec projecteur de 30^{cm} de diamètre ;

2° L'appareil de 1.600 becs, avec projecteur de 40^{cm}, pour les bâtiments de la flotte ;

3° L'appareil de 2.500 becs, avec projecteur de 60^{cm}, pour l'éclairage des lignes de torpilles fixes ;

4° L'appareil de 4.000 becs, avec projecteur de 75 ou 90^{cm}, pour éclairer les lignes de torpilles de grande étendue, et pouvant aussi être employé comme *appareil chercheur* pour la surveillance extérieure des rades et des ports.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

APPAREILS PHOTO-ÉLECTRIQUES SUR LES CANOTS A VAPEUR

§ 679. **Disposition.** — L'installation comporte une machine Gramme, un projecteur à miroir renfermé dans une cage en bois et une lampe à main.

La dynamo est mise en mouvement par un petit moteur Brotherood au moyen d'une courroie, et le rapport des diamètres des poulies est de deux. Le tout est renfermé dans une caisse en tôle que l'on installe dans la chambre AR du canot à vapeur.

Il faut environ quarante-cinq minutes pour mettre en place la caisse, le projecteur et faire les joints des deux tuyaux. La machine fonctionne très régulièrement et peut donner une intensité lumineuse de près de 400 becs ; l'allure est alors de 1.300 à 1.500 tours (650 à 750 du moteur) par minute, avec une pression de 5^{kg} à $5^{kg},5$ à la chaudière. Il faut avoir au moins $4^{kg},5$ de pression pour obtenir un fonctionnement convenable.

§ 680. **Remarques.** — Au point de vue électrique, les avaries sont peu à craindre. Il faut pourtant noter qu'après un fonctionnement d'une heure, les bobines s'échauffent beaucoup (60 à 80°) ; et il en résulte une augmentation de résistance du circuit qui ne doit pas être négligée.

La disposition de la caisse-enveloppe n'est pas commode ; il est difficile de se servir du vélocimètre pour mesurer l'allure, et de vérifier l'état et le serrage des balais ; on éviterait ces inconvénients en mettant à rabattement un ou deux des côtés de la caisse, ou en y pratiquant des portes.

Le projecteur est monté sur un chandelier en fer à l'avant du canot ; deux hommes peuvent le manœuvrer sans gêner en rien l'armement d'un canon-revolver placé tout à fait à l'avant de l'embarcation. Le tir de cette pièce n'a aucune influence sur le fonctionnement de la lampe électrique.

Le réglage de la lampe exige une attention soutenue et occasionne une grande fatigue.

Au bout d'un certain temps de fonctionnement, la lampe prend du jeu dans son logement ; le ressort en cuivre rouge, qui établit le contact avec la plaque négative, se déforme, et les contacts ne se trouvent plus assurés. Il en résulte des étincelles et des échauffements qui détériorent les plaques de contact et les iso-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lants. On y a remédié en introduisant entre les plaques des cales en cuivre amincies, en forme de coin.

Les porte-charbons prennent rapidement du jeu, ce qui, dans les mouvements brusques du canot, amène la séparation des pointes et la rupture de l'arc.

Lorsqu'on marche vent debout avec un peu de clapotis, les embruns couvrent le projecteur, et rendent le fonctionnement de la lampe impossible.

L'appareil, placé dans de bonnes conditions atmosphériques, permet de voir en détail les objets de couleurs claires jusqu'à 900^{m}. On éclaire des buts à battre distants de 1.300^{m}.

Les expériences ne sont pas encore assez nombreuses pour permettre d'indiquer toutes les circonstances dans lesquelles l'emploi de la lumière électrique d'un canot à vapeur pourra rendre des services. Avec l'appareil actuel de 200 becs, l'embarcation peut naviguer comme en plein jour, dans des ports encombrés, ainsi qu'on l'a constaté à Marseille et à Toulon. On pourrait s'en servir utilement pour éclairer la route d'un bâtiment dans une passe, ou pour avertir du passage d'un bâtiment ennemi.

Pour battre un fort, on pourrait envoyer un certain nombre de canots à vapeur munis de fanaux électriques dont la lumière serait projetée sur les points à attaquer. Les bâtiments resteraient eux-mêmes dans une obscurité complète.

Mais il faut reconnaître que dès qu'il y a de la mer, l'emploi de la lumière électrique sur le canot à vapeur devient impossible, et qu'il faut se contenter de l'appareil installé à bord du bâtiment.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE INTÉRIEUR DES NAVIRES

§ 681. **Considérations générales.** — Nous venons de voir une importante application de la lumière électrique à la marine. Mais elle rend encore de grands services pour l'éclairage intérieur des navires. Les avantages qu'elle présente, dans ce cas, sont fort nombreux :

1° Elle supprime presque complètement tout danger d'incendie dont les conséquences sont toujours si désastreuses à bord des navires. Mais il est nécessaire, pour cela, que les conducteurs soient parfaitement isolés, et que les raccords ne présentent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

aucune solution de continuité. L'usage des coupe-circuits, dont nous avons parlé § 676, offre une grande garantie.

2° L'air qui est presque partout insuffisant, malgré l'emploi des ventilateurs, n'est plus absorbé par la combustion ; et il ne se trouve pas infecté par l'acide carbonique et les autres gaz que produisent les lampes à huile et les bougies. Ainsi, à égalité d'intensité lumineuse, et en prenant pour exemple une lumière d'une intensité de 100 bougies, on trouve que la quantité d'acide carbonique fournie en une heure par l'éclairage électrique à incandescence est zéro ; les bougies stéariques en donnent $1^{m.cub.},30$, et la flamme de l'huile environ le double.

La chaleur dégagée en une heure par la lumière électrique à incandescence varie entre 290 et 530 calories ; celle que fournissent les bougies stéariques est égale à 8.940 calories, et celle de l'huile est environ la moitié de ce chiffre.

3° A bord, dans les locaux des chaudières, où celles-ci fonctionnent au tirage forcé et avec les ventilateurs, tout système d'éclairage ordinaire est presque impossible ; et l'électricité seule peut fournir la lumière.

4° L'éclairage électrique à l'intérieur des navires est économique en comparaison de l'huile et de la bougie. Il faut remarquer que la dépense la plus forte est celle des machines qui commandent les dynamos. Or, sur les navires de l'État, cette installation est déjà rendue nécessaire par l'éclairage extérieur, qui est employé à la production des signaux à grande distance, et qui sert en guerre pour le service de veille contre les attaques des torpilleurs et pour l'éclairage lointain des parties à viser de nuit. Le reste du matériel nécessaire à l'éclairage intérieur coûte, il est vrai, un peu plus que le matériel ordinaire ; mais il est d'un service plus prompt et d'un entretien plus facile.

Ces considérations économiques sont confirmées par des expériences qui ont été faites à bord du *Dandolo*, cuirassé de la marine italienne ; et pourtant le moteur destiné aux machines électriques est du système Brotherood, qui ne réalise pas d'une manière parfaite les conditions d'économie désirables.

Pendant la navigation, il y a normalement sur les navires à vapeur plusieurs des grandes chaudières en action pour les propulseurs, et quelquefois une petite chaudière destinée à la distillation. On est obligé de maintenir dans les premières un excès de vapeur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour les machines auxiliaires, c'est-à-dire le gouvernail, les deux treuils à escarbilles, les ventilateurs, la pompe à incendie, quelquefois pour le cabestan de l'avant et le petit cabestan de l'arrière, et, pendant les exercices sur les bâtiments de guerre, pour les hydrauliques de manœuvre des canons et les pompes de compression d'air des torpilles automobiles. En regard de cette grande production de vapeur, la petite quantité consommée par les moteurs des dynamos destinés à l'éclairage intérieur disparaît; et l'on peut affirmer que, pendant la navigation, cet éclairage coûte fort peu, et qu'il est bien plus économique que l'huile et la bougie.

Dans le port, les conditions sont différentes à cause de la production limitée de vapeur. On l'obtient d'une des petites chaudières auxiliaires tenues toujours sous les feux, à toute éventualité, pour l'usage de la pompe à incendie; en outre, cette chaudière fournit la vapeur nécessaire pendant le quart du jour pour la pompe à lavage et les ventilateurs, pendant le jour pour les treuils à escarbilles, la propreté des poulaines, les exercices du canon et les lancements de torpilles, et enfin dans la soirée pour la pompe à eau douce et quelquefois pour la distillation. La production limitée de vapeur exige que, dans le port, il soit attribué à chacun des services une consommation particulière de vapeur et, par suite, de charbon.

Or, une petite chaudière auxiliaire, consommant moins de 125^{kg} de charbon par heure, produit facilement $530^{m.cub.}$ de vapeur à la pression de $2^{kg},5$; une machine motrice Brotherood, à la vitesse normale de 650 tours par minute, absorbe $130^{m.cub}$ de vapeur par heure, c'est-à-dire moins du quart de la production, et exige une pression de $1^{kg},8$ à $2^{kg},2$ au manomètre de la valve d'introduction, ce que l'on obtient facilement lorsque celui de la chaudière marque $2^{kg},5$.

Si donc on adopte normalement une dynamo, et, par suite, un moteur Brotherood pendant le jour, et trois en plus pendant la nuit pour l'éclairage électrique intérieur d'un navire, si l'on se base sur l'hiver, saison pendant laquelle il faut un plus grand éclairage, et qu'on fixe à huit heures l'éclairage de jour, et à seize heures celui de nuit, on reconnaît que la consommation de charbon pour l'éclairage électrique intérieur seul est de $1^t,750$ par vingt-quatre heures; car on a

$$\frac{0,125}{4} \times 8 + 0,125 \times \frac{3}{4} \times 16 = 1^t,750,$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ce qui, à 35[f] le tonneau (prix moyen rendu à bord), porte la dépense de charbon à 61[f],25.

La dépense d'huile vulcanique pour le graissage (la consommation étant de 0[kg],120 par machine et par heure, et le prix de 1[f],10 le kilogramme) est donnée par

$$(0{,}120 \times 8 + 0{,}120 \times 3 \times 16)1{,}10 = 7^{f},39,$$

soit une dépense de 7[f],40 en 24 heures; d'où il résulte que, dans notre exemple, l'éclairage électrique intérieur représenterait normalement, dans le port et pendant l'hiver, une dépense journalière en charbon et huile de graissage de 68[f],65.

Le tableau ci-joint donne le détail des divers fanaux à huile et à bougies qu'on doit tenir allumés dans les différents locaux intérieurs d'un grand cuirassé pour avoir normalement la lumière nécessaire, pendant le séjour dans le port. On peut en déduire le prix de la consommation d'huile et de bougies pour l'éclairage ordinaire, et le prix de la consommation d'huile et de bougies pour compléter l'éclairage électrique, lequel, joint aux 68[f],65, nous donne le coût de l'éclairage total quand on fait usage de l'électricité.

Fanaux à tenir normalement allumés pendant le séjour dans le port, dans les divers locaux intérieurs.

	ÉCLAIRAGE ORDINAIRE								ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE				
	DE JOUR		DE NUIT						DE JOUR	DE NUIT			
	FANAUX		LAMPES à modérateur			FANAUX à bougies			FANAUX		FANAUX		
	à bougies	à huile	1re grandeur	2e grandeur	Fanaux à globe	pour le bord	pour les logements	Fanaux à huile	à bougies	à huile	à globe	à bougies	à huile
Nombre des fanaux.	31	43	5	9	9	90	33	29	7	20	5	7	10
Consommation par fanal en hiver. . .	1	0,100	0,420	0,175	0,140	2	0,2	0,140	1	0,100	0,140	2	0,140
Prix de l'unité. . . .	0,40	1,20	1,55	1,55	1,20	0,40	0,20	1,20	0,40	1,20	1,20	0,40	1,20
Prix total.	12,40	5,16	3,26	2,44	1,51	72,00	1,32	4,87	2,80	2,40	0,84	5,60	1,58
	102,96								13,32				
Total général. .	102,96								13,32 + 68,65 = 81,97				

Ce tableau permet de calculer l'intensité d'éclairage que l'on

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

a dans les divers locaux et, par suite, l'intensité totale existant dans tout le bâtiment. En effet,

La lampe modérateur de première grandeur représente.	8	bougies.
Celle de deuxième grandeur.	4	—
Le fanal à globe.	2	—
Le fanal à huile	1	—

L'éclairage ordinaire équivaut donc en tout à 320 bougies. Or la petite lampe électrique en usage ayant une intensité de 8 bougies, l'éclairage électrique représente 1.990 bougies ; c'est-à-dire une intensité lumineuse six fois plus grande ; et l'on voit qu'à intensité lumineuse égale, l'éclairage électrique coûte moins que 1/7 du prix de l'éclairage ordinaire. En comparant même le prix de l'éclairage électrique actuel avec celui de l'éclairage ordinaire, on remarque une économie journalière de 21^{f}.

Les avantages de la lumière électrique ont été appréciés par les marines de tous les pays ; et maintenant ce mode d'éclairage est universellement employé pour tous les navires de guerre et de passagers.

§ 682. **Éclairage électrique du cuirassé le « Richelieu ».** — C'est à bord du *Richelieu* qu'a été faite en France une des premières installations de lumière électrique. Nous allons la décrire uniquement pour mémoire. Nous exposerons ensuite comme exemple des installations les plus récentes celle de l'*Indomptable*, où nous verrons les derniers progrès réalisés dans cette voie.

L'éclairage électrique a été organisé à bord du cuirassé le *Richelieu*, par MM. Sautter et Lemonnier. L'ensemble comprend 227 lampes à incandescence Edison, dont 211 de 8 bougies pour l'éclairage proprement dit, et 16 de 30 bougies pour les signaux et feux de route. Ces lampes sont réparties en sept circuits partant d'un tableau de distribution placé près de la machine électrique.

Chaque circuit est commandé par un commutateur que l'on manœuvre sur l'ordre de l'officier de service. Dans chaque circuit, quelques lampes dont on n'a besoin qu'à certains moments sont munies d'un commutateur individuel. 48 coupe-circuits divisent l'installation en autant de groupes, de sorte que si les fils d'une lampe entrent par accident en contact, tout le groupe est à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la fois retiré du circuit. Les sections des conducteurs ont été calculées, et les points de départ des principales dérivations ont été déterminées de façon que dans chaque circuit la différence de potentiel entre les deux fils de la lampe la plus éloignée ne diffère pas de plus d'un volt de la chute au tableau de distribution.

La différence de potentiel étant sensiblement constante aux bornes de la machine, l'intensité du courant est toujours proportionnelle au nombre de lampes allumées. On n'a donc à s'occuper d'aucun réglage au moment de l'allumage ou de l'extinction d'un ou plusieurs circuits. Les lampes sont groupées comme il suit :

1° *Le circuit de jour*, destiné à fonctionner jour et nuit, comprend 68 lampes de 8 bougies placées dans les parties basses du vaisseau (soutes, magasin général, etc.).

2° *Le circuit de nuit* éclaire les postes de couchage, cabines et carrés ; il comprend 79 lampes de 8 bougies, dont 58 possèdent des commutateurs individuels.

3° *Le circuit de combat* a 16 lampes de 8 bougies placées dans les soutes à munitions.

4° *Le circuit de machine* comprend 26 lampes de 8 bougies, réparties en deux séries commandées par un commutateur placé dans la chambre de la machine. La première série, de 8 lampes, éclaire jour et nuit la machine, les lignes d'arbres, les chaufferies. La seconde série, de 18 lampes, vient compléter la première, pour permettre de visiter les pièces de la machine et faire les réparations.

5° Le *circuit de mer* comporte 22 lampes de 8 bougies, et complète l'éclairage de la machine et des chaufferies lorsque le bateau prend la mer.

6° *Le circuit des feux de route* est composé de 6 lampes de 30 bougies, dont 3 dans les fanaux arrière, 2 dans les fanaux de côté et 1 dans le fanal placé dans la hune.

7° *Le circuit des signaux*, comprenant 10 lampes de 30 bougies, alimente les feux placés dans la mâture pour les signaux de nuit. Les deux câbles, partant du panneau de distribution, aboutissent au kiosque de la Majorité, où ils peuvent être fixés aux deux bornes du manipulateur.

Deux câbles mobiles, composés chacun de 6 fils isolés les uns des autres, tordus autour d'une corde en chanvre et recouverts d'une tresse goudronnée, servent à établir les communica-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tions entre le manipulateur et chacune des lampes placées dans les fanaux de la mâture. Comme ces fanaux sont situés à 2 mètres au-dessous l'un de l'autre, chaque câble lâche, tous les deux mètres à partir d'une de ses extrémités, un des fils qui le composent, plus un brin, fixé sur le sixième fil, qui sert de retour commun aux 5 lampes. Un conjoncteur permet d'établir rapidement les communications entre chaque câble et le manipulateur.

§ 683. **Dynamo**. — La dynamo est du système Gramme, type ID; elle fournit 200 ampères, et peut en atteindre 250. A sa vitesse normale, qui est de 580 tours, la force électromotrice aux bornes est de 51 à 52 volts. Sa résistance intérieure est de 0,008 ohm. Les électro-aimants sont excités en dérivation.

La force électromotrice est constante aux bornes, quel que soit le nombre de lampes en activité. Ce résultat est obtenu grâce à la faible résistance de l'armature et à l'excitation en dérivation.

Le circuit induit de l'armature est formé par des barres de cuivre rouge de haute conductibilié.

Cette machine, de construction très robuste, consomme 25 chevaux à la vitesse de 580 tours, et peut alimenter 400 lampes de 8 bougies ou 200 lampes de 16. Elle est commandée directement par un moteur Mégy, muni d'un régulateur différentiel qui permet, malgré la variation de travail, d'obtenir une vitesse constante.

§ 684. **Moteur Mégy**. — La dynamo, comme on le voit, marche à une grande vitesse. A bord des navires, l'emploi des courroies doit être évité, tant au point de vue de l'espace que du fonctionnement ; il faut donc que la machine électrique soit commandée directement. C'est ce qui a engagé MM. Sautter et Lemonnier à adopter le moteur à grande vitesse Mégy. Nous n'insisterons pas sur la description de cette machine, ce qui nous éloignerait du programme de notre ouvrage. Nous nous bornons à en donner le dessin (Pl. XXV, fig. 1). La légende suffit du reste pour indiquer le mode de fonctionnement du moteur. Comme dans toutes les machines à grande vitesse, les pièces en mouvement ont été construites le plus légères possible, en employant l'acier et le bronze phosphoreux.

Le genre de distribution donne une bonne utilisation de la vapeur, malgré la grande vitesse, et permet une détente variable, ce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui est indispensable pour assurer à la dynamo une vitesse constante quel que soit le nombre de lampes en service. La vapeur est conduite aux orifices sans étranglement, et les espaces nuisibles sont très faibles.

§ 685. **Régulateur**. — La légende donne la description du régulateur dont nous allons seulement rappeler, en quelques mots le fonctionnement. La machine étant au repos, les ressorts r, r (vue 4), par l'effet de la tension initiale qui leur a été communiquée au moyen des vis s, s, agissent sur le manchon à oreilles V, sur les galets x, x (vue 3) et les rainures hélicoïdales, pour maintenir la douille Z complètement repoussée à droite. L'obturateur est alors maintenu par la fourchette f (vue 5), l'axe g et le levier g', dans la position correspondante à l'admission maxima. Quand, au contraire, la machine est en marche, les ressorts r, r tendent à s'ouvrir par l'effet de la force centrifuge, et à faire mouvoir de droite à gauche la douille Z, diminuant ainsi l'admission de la vapeur.

A la vitesse normale, les ressorts se maintiennent en équilibre sous les actions opposées de leur tension et de la force centrifuge. Lorsque le travail résistant diminue, la vitesse tendant à augmenter, la force centrifuge l'emporte, la douille Z se déplace à gauche, et l'admission de vapeur se trouve réduite.

Si au contraire le travail croît, la vitesse se ralentissant, la tension des ressorts devient prépondérante, la douille se déplace sur la droite, et l'admission augmente.

Comme on le voit, la vitesse à laquelle le régulateur agit pour maintenir constante l'allure de la machine, est déterminée par la tension initiale des ressorts r, r. Pour faire varier cette tension et, par suite, l'allure de régime, il suffit de manœuvrer les vis de réglage au moyen d'une clef.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DU CUIRASSÉ « L'INDOMPTABLE » (1)

§ 686. **Utilité des dynamos à faible vitesse**. — Récemment, MM. Sautter et Lemonnier ont installé la lumière

(1) Cet éclairage comporte les derniers perfectionnements de l'espèce ; et son ensemble constitue un type d'avenir. Nous devons à MM. Euzel, ingénieur électricien, et Laurent, officier mécanicien, des renseignements précieux sur le tout.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

électrique à bord du cuirassé l'*Indomptable* d'une façon tout à fait remarquable, et en se basant sur un principe nouveau. Comme on l'a vu par l'exemple du *Richelieu* cité précédemment, on avait donné jusqu'à présent aux dynamos des vitesses considérables, nécessitant l'emploi de moteurs spéciaux tels que ceux de Brotherood ou de Mégy. Dans la nouvelle installation, les constructeurs se sont efforcés de réduire les vitesses, ce qui leur permet de substituer aux moteurs spéciaux des machines pilons, types courants dans la marine, tout en conservant la commande directe des dynamos.

C'est que le rôle de l'électricité prend chaque jour une importance nouvelle sur les navires de guerre et les paquebots. On compte par 100 chevaux la force nécessaire à l'installation électrique faite à bord des derniers transatlantiques ; c'est 60 à 70 chevaux qu'il faut prévoir pour l'éclairage total d'un cuirassé. On peut espérer aussi que la transmission électrique de la force trouvera un jour des applications sur les vaisseaux.

Il faut donc actuellement, à bord des navires, produire de l'électricité d'une manière continue avec des machines d'une certaine importance ; et l'on a été amené à chercher des moteurs économiques, c'est-à-dire consommant peu de vapeur, d'une construction rustique, et ne s'écartant pas des types généralement employés dans la marine. Cette condition est importante surtout dans la marine marchande où le personnel des bons mécaniciens est rare et coûteux. Ces deux conditions écartent les moteurs de 15 à 20 chevaux tournant à plus de 400 tours par minute.

Comme, d'autre part, on veut que les dynamos soient conduites directement, sans intermédiaires tels que les engrenages et les courroies, le problème était de trouver des dynamos assez puissantes et tournant à faible vitesse. Voici comment ce programme a été réalisé sur l'*Indomptable*.

§ 687. **Dynamo.** — La dynamo est du type Gramme duplex à enroulement compound. Nous en avons donné la description § 654. Rappelons qu'elle a sur une dynamo ordinaire présentant même bobine tournante et même champ magnétique l'avantage de fournir, avec une vitesse moitié moindre, même nombre d'ampères et même force électromotrice.

Les électro-aimants sont à double enroulement. A la vitesse

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de 350 tours, cette dynamo peut donner, avec une chute de potentiel constante de 66 volts aux bornes, depuis 1 jusqu'à 150 ampères, et alimenter de 1 à 225 lampes de 10 bougies. Le travail absorbé varie proportionnellement au nombre de lampes allumées.

§ 688. **Moteur à vapeur. Constitution de chaque unité d'éclairage.** — Le moteur du type pilon (Pl. XXIII, fig. 4) est à deux cylindres compound, fonctionnant à volonté avec échappement à air libre ou à condensation; il a une puissance normale de 20 chevaux effectifs à 3 kilogrammes de pression.

Pour réduire le poids au minimum, le cylindre et le bâti sont seuls en fonte; tous les autres organes sont en bronze ou en acier. La distribution est faite dans le grand cylindre par un seul tiroir, et dans le petit cylindre par un tiroir double à détente variable; on peut ainsi, avec un réglage convenable, fonctionner toujours dans les conditions les plus économiques de consommation de vapeur, soit à condensation, soit à échappement libre. Le régulateur de vapeur est disposé de telle sorte que, pendant la marche, on peut faire varier l'allure normale du moteur.

Le moteur et la dynamo sont montés dans le prolongement l'un de l'autre sur un châssis commun en fer à double T, qui sert en même temps de bâti aux organes de la dynamo. L'accouplement est fait par un manchon flexible à ressorts, dispensant des précautions minutieuses qu'exigerait un accouplement rigide.

L'installation de l'*Indomptable* comporte deux ensembles disposés comme celui que nous venons de décrire.

Chacun d'eux constitue une unité d'éclairage convenable pour les navires de guerre, croiseurs ou cuirassés, et peut normalement alimenter :

ou 225 lampes à incandescence de 10 bougies,
ou 4 projecteurs de 1.600 becs,
ou 8 projecteurs de 500 becs.

On a la facilité de substituer un projecteur de 1.600 becs à 60 lampes environ de 10 bougies, ou un projecteur de 500 becs à 30 lampes de 10 bougies. Chaque ensemble doit donner normalement 150 ampères et 66 volts avec une vitesse ne dépassant pas 350 tours.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les dimensions d'un ensemble sont :

Longueur	2m,40
Largenr	0m,80
Hauteur	1m,60
Poids	320kg

MM. Sautter et Lemonnier se sont préoccupés de protéger le navire contre les torpilleurs par une ceinture continue d'éclairage. On est conduit, pour atteindre ce but, à adjoindre aux projecteurs de grande intensité destinés à fouiller l'horizon, des projecteurs moins puissants mais plus nombreux et à grande divergence horizontale.

Un des ensembles de l'*Indomptable* peut alimenter 8 projecteurs de 0m,40 de diamètre avec 45° de divergence, c'est-à-dire éclairer tout l'horizon, pendant que le second alimente les 225 lampes de l'intérieur, l'un pouvant d'ailleurs se substituer à l'autre.

§ 689. **Disposition générale de l'éclairage.** — La Pl. XXVI, fig. 1, 2, 3, 4, donne la disposition générale des lampes dans les différentes parties du bâtiment ; elles sont représentées par le signe ◍ ou ◌.

Sur la figure schématique 3 (1), les fils sont dessinés en dehors du plan de coupe, afin de ne pas embrouiller le dessin et de permettre de suivre les différents circuits.

Les machines sont placées dans le compartiment du faux pont au-dessus de la soute à obus Æ. Les bornes d'où partent les fils sont fixées au-dessus de chaque dynamo, comme l'indique la figure 6 ; et ces fils vont se relier au tableau de distribution placé sur l'Æ dans le même compartiment.

Le tableau de distribution (fig. 5) comporte deux règles en bronze R^b, R' ; chacune est en communication directe avec une des deux machines. Le courant partant de la machine de bâbord, par exemple, suit le conducteur, passe dans deux coupe-circuits a, a' de 90 ampères chacun, puis dans l'ampère-mètre A^b, et se rend à la règle R^b, qui est mise en communication avec les différents services par les commutateurs.

Les commutateurs sont au nombre de 8, et desservent les postes suivants :

(1) Voir pour cette expression la note de la page 467.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

C_1 *Combat.* — Éclaire les soutes aux poudres et à obus.
C_2 *Machine.* — Éclaire la chambre des machines motrices, les machines auxiliaires et les chambres de chauffe.
C_3 *Signaux.* — Dessert le projecteur $\mathcal{AR}$ de 1.600 becs.
C_4 *Route.* — Éclaire les feux de côté, de beaupré et de poupe.
C_5 *Signaux.* — Éclaire les fanaux de signaux.
C_6 *Signaux* pour le projecteur $\mathcal{AV}$ de 1.600 becs.
C_7 *Nuit.* — Éclaire les différentes parties du navire, et remplace les fanaux d'applique.
C_8 *Jour.* — Éclaire les parties du bâtiment situées au-dessous du pont cuirassé.

La règle R^t communique avec la machine de tribord; sa disposition est analogue à celle de la règle R^b.

Les deux ampère-mètres A^t, A^b mesurent l'intensité de chaque machine. Les nombres indiqués par ces instruments doivent être multipliés par 4 pour exprimer des ampères.

Le volt-mètre V mesure la force électromotrice du courant. Cet appareil est commun aux deux machines. L'une des bornes est reliée aux deux règles R^b et R^t, l'autre à un fil greffé sur le retour commun aux deux machines.

c^b, c^t sont deux boutons commutateurs permettant de mettre le volt-mètre dans le circuit de l'une ou de l'autre des machines.

En l^b, l^t, il y a deux lampes de 10 bougies, dites *lampes d'essai*, placées dans le circuit de chacune des machines, et permettant au mécanicien de se rendre compte à première vue de l'état de la lumière produite. Chacune des lampes est reliée à la règle de la machine correspondante par les fils h^b, h^t, et au retour commun avec les deux machines.

Dans la manœuvre des commutateurs $C_1, C_2 \ldots, C_8$, il faut remarquer que la poignée d étant verticale, le circuit est ouvert; la poignée étant inclinée sur la touche 1 (droite), le circuit est fermé pour le fonctionnement de la machine de tribord; si la poignée est inclinée sur la touche 2 (gauche), le circuit est fermé pour le fonctionnement de la machine de bâbord.

Les dispositifs numérotés et représentés par les signes $\ominus$ sont des coupe-circuits, dans lesquels on loge des bouchons de sûreté en plomb. Ils sont à vis afin d'être facilement changés. Ils ont pour but de préserver les fils. Ils sont de 30, 40, 60, 90 et 120 ampères, suivant l'intensité du courant maximum que doit supporter le fil.

Deux bobines de résistances S^b, S^t, dont la figure 7 donne la vue en plan, sont placées dans le circuit des projecteurs de 1.600 becs. Ces bobines ont pour objet d'obtenir aux projecteurs une force électromotrice de 50 volts environ nécessaire à leur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fonctionnement, cette force devant toujours être de 70 volts à la machine pour assurer l'éclairage des autres parties du bâtiment. Chaque bobine se compose de 10 spirales en fil de fer ayant 4^{mm} de diamètre et 510^{mm} de hauteur, reliées entre elles au moyen de petites touches en bronze. Dans les intervalles laissés libres entre ces touches, on peut visser une borne mobile b''. Deux bornes b et b' sont placées aux extrémités de la bobine ; l'une b est reliée au commutateur C_3 ou C_5, l'autre b' au projecteur correspondant. La borne mobile b'' étant enlevée, le courant peut parcourir toute la bobine pour se rendre de la borne b à la borne b'.

P^b, P^t sont deux commutateurs placés à la partie supérieure du tableau de distribution et permettant d'admettre dans le circuit des projecteurs une portion déterminée des bobines de résistances S^b ou S^t, en supprimant un nombre donné de spirales. Chacun d'eux se compose de deux touches isolées n, n' pouvant être mises en contact en inclinant la poignée convenablement. La touche n est liée à la borne b, la touche n' à la borne mobile b''. La borne b étant, comme on l'a vu, reliée au commutateur C_3 ou C_5, et b' au projecteur. Si la poignée est inclinée de façon à mettre les deux touches n, n' en contact, le courant de la borne b arrive en b'', traverse les spirales comprises de b'' en b' pour se rendre au projecteur. En manœuvrant convenablement la borne b'', on arrive à obtenir la résistance voulue pour un bon fonctionnement du projecteur.

Si l'on emploie une des machines spécialement pour les projecteurs on peut se dispenser de faire usage de la bobine de résistances, parce que n'ayant pas d'autre lampe à desservir, la machine peut être réglée comme on le désire.

La ligne KK′ en trait plein, dans le bas de la figure 5, est reliée aux bornes négatives des deux machines, et forme le retour commun. Ce fil est en contact avec deux bandes N^b, N^t, sur lesquelles sont fixés les retours des différents circuits.

La ligne b, formée de traits et de points, représente le fil positif dans chaque machine ; les flèches indiquent la marche du courant.

La ligne c, formée de traits interrompus, représente le circuit qu'il faut fermer pour l'éclairage de nuit (commutateur C_7).

La ligne d, formée par des points, est le circuit qu'il faut fermer pour l'éclairage de jour (commutateur C_8).

La ligne e, traits séparés par 4 points, est le circuit pour l'éclairage des machines et des chaufferies (commutateur C_2).

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La ligne *f*, traits séparés par deux traits plus petits, est le circuit de combat (commutateur C_1).

La ligne *g*, traits séparés par 2 points, est le circuit servant à l'allumage des feux de côté, de beaupré et de poupe (commutateur C_4).

La ligne *h*, traits séparés par une croix, représente le circuit des projecteurs de 1.600 becs (commutateurs C_3 ou C_6).

La ligne *g'* formée par des croix est le circuit des signaux (commutateur C_5).

La partie de la figure 5 comprise dans l'accolade ⌣ o ⌣ se trouve réellement placée à bord, de l'autre côté de la cloison étanche sur laquelle est appliqué le tableau de distribution. C'est pour pouvoir tout lire sur le même plan qu'on a ainsi tracé la figure.

Les bandes N^b et N^t reçoivent le retour des différents circuits ; ce sont :

Pour la bande de babord N^b, en commençant par le haut :

1° Machines motrices et dépendances ;
2° Feu extérieur *AV* (beaupré) ;
3° Feux de jour et de nuit, et éclairage du pont principal et des soutes aux poudres *AV* ;
4° Feux de jour et de nuit *AR* ;
5° Feux extérieurs *AR* ;
6° Signaux ;
7° Feux de jour et de nuit *AV*.

Pour la bande N^t, en commençant par le haut :

1° Machines motrices et dépendances ;
2° Projecteur de 1.600 becs *AR* ;
3° Kiosque et abri cuirassé du Commandant (passerelle) ;
4° Feux de jour et de nuit, soutes aux poudres et pont principal *AR* ;
5° Feux de route ;
6° Feux de jour et de nuit *AV* ;
7° Projecteur de 1.600 becs *AV*.

Les fils compris dans les accolades M_b et M_t se prolongent sur l'*AV* en traversant ; et la figure 3 en montre la suite.

APPLICATIONS DIVERSES DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE

§ 690. **Observations sur le rôle des feux électriques.** — L'éclairage des buts à battre semble être un des rôles les plus importants des fanaux électriques. Le bâtiment qui en fera usage servira, il est vrai, de point de mire ; mais un but aussi

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

brillant est difficile à viser et rend impossible l'appréciation des distances. Le reste du navire est plongé dans une grande obscurité et ne peut être que difficilement distingué. Il est bon de se rappeler que toutes les fois que l'on fait usage de la lumière électrique, il faut être autant que possible éloigné du faisceau lumineux pour bien distinguer les objets que l'on éclaire. Aussi est-il préférable de faire éclairer le but à battre par un autre bâtiment en restant soi-même dans l'obscurité.

On peut aussi tirer un excellent parti de ces fanaux pour éclairer une plage et faciliter un débarquement.

Les projecteurs disposés en abord, comme sur le *Richelieu*, permettent d'éclairer tout près du bord et d'obtenir par réflexion une lumière très douce sur la coupée, les sabords et les pavois. On peut alors embarquer du matériel, armer des embarcations aussi aisément qu'en plein jour.

En cours de navigation, l'usage de la lampe électrique pour éclairer et scruter l'horizon ne peut être que nuisible. Le grand éclat du faisceau lumineux éblouit la vue et empêche absolument de distinguer l'horizon. La lumière électrique ne peut servir qu'à éclairer un point déjà trouvé, à voir les détails, à connaître la route que fait un bâtiment; son rôle est indiqué pour faciliter l'entrée de nuit dans une passe, pour éclairer les détails de la côte, les bouées dont on sait à peu près la position.

§ 691. **Navigation de nuit dans le canal de Suez.** — Les services que la lumière électrique peut rendre dans des circonstances de ce genre sont mis en évidence au canal de Suez, où les vaisseaux ont été autorisés à marcher de nuit, à partir du 1er décembre 1885 entre Port-Saïd et le kilomètre 54.

Dans le courant d'avril 1885, plusieurs bateaux ont transité la nuit de Port-Saïd à Ismaïlia, et ont passé d'une mer à l'autre en seize à dix-huit heures, gagnant ainsi dix-huit à vingt heures sur le temps moyen nécessaire au trajet.

Pour les parties droites, la direction à suivre est indiquée au moyen de feux fixes établis par la compagnie. Des bouées lumineuses marquent les passes. C'est dans les courbes que la lumière électrique trouve surtout son application.

Chaque navire doit être muni des appareils suivants imposés par le règlement :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1° A l'avant, un projecteur électrique d'une portée de 1.200^{m} ;

2° A l'arrière, une lampe électrique capable d'éclairer un champ circulaire de 200 à 300^{m} de diamètre ;

3° Sur chaque flanc, une lampe électrique avec réflecteur.

Le projecteur de l'avant permet de voir si la voie est libre ; en outre, il rend visibles les berges et les bouées, ce qui est utile surtout dans les courbes.

Les lumières des flancs et de l'arrière éclairent les bouées de bâbord et de tribord en même temps que les berges à l'arrière, et renseignent le pilote sur la position de l'arrière.

La plupart des vaisseaux de guerre et des bâtiments postaux possèdent une installation d'éclairage électrique et remplissent les conditions imposées ci-dessus. Mais il existe des appareils amovibles que le navire peut embarquer à son entrée à Port-Saïd ou à Suez, et qu'il débarque à l'autre extrémité du canal.

Cette installation comporte une dynamo Gramme à enroulement compound produisant 70 volts et 75 ampères (45 pour le projecteur avant, 8 pour chaque côté et 14 pour le feu d'arrière). La dynamo est commandée par un moteur Brotherood monté sur le même bâti qu'elle.

La distribution électrique se fait par quatre dérivations convenablement calculées pour que chaque foyer reçoive la quantité d'électricité qui lui est nécessaire. Un tableau de distribution commande tous ces appareils ; il s'installe sur la passerelle à côté du pilote. Celui-ci est en communication constante par un téléphone, avec l'homme qui manœuvre le projecteur de l'avant, et il peut disposer des feux d'arrière, de tribord et de bâbord par un commutateur.

Le projecteur de l'avant a un miroir aplanétique du système Mangin, avec 0^{m},40 de diamètre. Sur la porte antérieure, des lentilles plano-cylindriques donnent au faisceau la divergence nécessaire. Le projecteur est placé à 3^{m} au-dessus du niveau de l'eau sur un plancher mobile installé au-devant de l'étrave, et où se tient l'homme chargé de manœuvrer la lampe à main et de faire varier la direction du faisceau à la demande du pilote.

Le feu de l'arrière est fourni par une lampe renfermée dans une lanterne suspendue à 3^{m} au-dessus de l'eau ; une disposition convenable permet de braquer le faisceau lumineux suivant une direction voulue.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les feux de côté sont disposés comme celui d'arrière.

§ 692. **Signaux de nuit, système de M. de Méritens.** — L'électricité est avantageusement utilisée pour la production des signaux de nuit.

Rappelons en quelques mots le système ordinairement adopté dans presque tous les pays maritimes.

On emploie une espèce de télégraphie optique. Un fanal est allumé sur une vergue, et il est pourvu d'un écran permettant de donner et d'intercepter la lumière pendant un temps plus ou moins long. On procède ainsi par brèves et par longues suivant une sorte d'alphabet conventionnel. Ce système présente de graves inconvénients. Les signaux ne sont pas permanents et ne peuvent être contrôlés. La transmission des ordres se fait très lentement, et l'interprétation donne lieu à des erreurs.

Dans la marine française, on a imaginé un autre système. On hisse presque parallèlement à la mâture, le long d'une vergue, dix petits fanaux éclairés par une bougie stéarique. Un intervalle règne dans la verticale entre les cinq fanaux du haut et ceux du bas, qui forment deux séries. Suivant le nombre de feux allumés en même temps dans les deux séries, on transmet tel ou tel ordre réglé d'une façon conventionnelle. Ce procédé, qui est préférable à celui que nous avons décrit en premier lieu, a aussi des inconvénients. Quelques-uns des fanaux peuvent, par exemple, s'éteindre pendant la manœuvre. Il faut les descendre pour les rallumer ; c'est une perte de temps.

L'électricité a permis de résoudre la question ; et voici quel est le système imaginé par M. de Méritens :

Le courant est produit par une magnéto établie d'après le même principe que celles qu'on emploie pour les phares, mais de dimension beaucoup moindre. Les aimants, au lieu d'être placés suivant le prolongement du diamètre de l'anneau, sont disposés parallèlement à l'axe. La machine est commandée par une roue dentée et deux manivelles. Quatre hommes faisant exécuter cinquante tours aux manivelles impriment aux anneaux une vitesse de 600 tours.

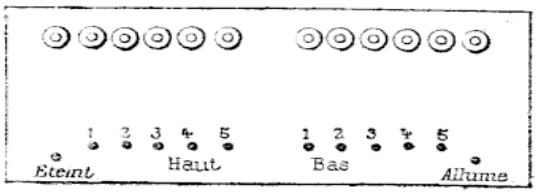


Fig. 157.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le courant arrive à un *manipulateur à touches* (fig. 157) pourvu de douze bornes. Le courant se rend à la borne extrême de droite; celle de gauche reçoit le câble de retour des dix lampes et le retour à la machine. Les dix bornes intermédiaires amènent le courant à dix lampes à incandescence placées dans les fanaux. Des boutons mobiles permettent d'établir les contacts. En appuyant sur les boutons, on met les lampes correspondantes dans le circuit, et en pressant ensuite sur le bouton « *Allume* » on produit l'éclairage. Les lampes non allumées sont remplacées dans l'appareil par des bobines présentant des résistances équivalentes. Pour éteindre, il suffit de presser le bouton « *Éteint* ».

Si l'on veut faire des signaux par brèves et par longues, l'allumage et l'extinction du fanal sont produits par un bouton analogue à celui d'une sonnerie. La durée du contact détermine les périodes d'éclairage.

Un système d'embrayage installé sur l'arbre des manivelles permet de l'atteler à la machine du navire pendant la marche, la mise en mouvement à bras d'hommes n'étant employée que pendant les moments d'arrêt.

§ 693. **Éclairage électrique des phares.** — L'éclairage des phares est une des applications les plus importantes de l'électricité. Les phares de l'espèce existant actuellement en France sont ceux de Calais, Dunkerque, Gris-Nez, la Canche, la Hève, les Baleines, la Palmyre. Beaucoup d'autres phares de premier ordre éclairés à l'huile minérale seront prochainement transformés pour être desservis par l'électricité.

Jusqu'à présent c'est à l'arc voltaïque qu'on s'est adressé pour produire la lumière des phares. M. F. Lucas, dans un rapport adressé à l'Académie des sciences, nous indique les conditions de fonctionnement de ces appareils.

Pour produire 450 becs Carcel, on emploie 4 chevaux-vapeur. Chaque cheval correspond donc à 112 becs. Le courant ayant une intensité de 55 ampères, et la résistance de l'arc étant $0^{ohm},43$, la différence de potentiel entre les deux pointes de charbon est de $23^{volts},65$, et l'énergie électrique est de 1.300 watts. Sur les 4 chevaux employés, l'arc en absorbe 1,76; le reste est consommé par la transmission, la rotation de la machine magnéto-électrique et la résistance du circuit.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'arc voltaïque présente comparativement à l'huile minérale deux grands avantages pour l'éclairage des phares: la puissance lumineuse et l'économie de prix de revient. Mais on peut lui reprocher l'instabilité de sa lumière. Quand on observe un de ces foyers, on remarque que l'intensité lumineuse ne provient pas de la flamme bleuâtre qui constitue l'arc ; elle est produite par l'incandescence des pointes de charbon portées à une température très élevée. La flamme constitue plutôt un écran, et elle absorbe de la lumière. C'est le déplacement continuel de cet écran autour du charbon, c'est aussi la rotation des zones incandescentes autour des pointes qui produisent les vacillations de la lumière, bien plus que les variations de l'écartement des pointes.

Ce fait étant reconnu, et puisque la vraie cause de la lumière est l'incandescence, M. Lucas en conclut que l'on peut demander à l'incandescence dans le vide la quantité de lumière qui, jusqu'à présent, a été fournie par l'arc. C'est dans cette voie qu'il a dirigé ses recherches pour l'éclairage des phares.

Le programme qu'il s'est imposé est le suivant :

1° Le foyer lumineux doit présenter la forme d'une surface de révolution ayant un axe vertical ; car il faut que la lumière soit également distribuée dans tous les azimuts.

2° On doit recourir à des courants de quantité et donner peu de résistance au corps incandescent ; en un mot, il faut obtenir beaucoup de watts avec peu de volts, pour que le foyer acquière une grande puissance, sans produire en même temps une tension foudroyante ou simplement dangereuse.

3° Le corps incandescent ne peut être que le charbon, parce que seul il est capable de supporter, sans se fondre ou se volatiliser, des températures excessives.

Voici comment M. Lucas rend compte du résultat de ses études : « On peut obtenir 400 becs Carcel avec un courant de 170 ampères, et une résistance de $0^{ohm},04$ (résistance du corps incandescent), soit, en d'autres termes, avec une tension de 7 volts et une énergie de 1.200 watts. Dans ces conditions, l'unité lumineuse n'exige pas, pour la partie incandescente du circuit, un travail mécanique supérieur à celui qu'elle demande aujourd'hui avec l'emploi de l'arc voltaïque. J'ai évalué à environ 4.000° C. la température du charbon lumineux, et j'ai constaté que ce charbon n'est ni fondu, ni volatilisé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

« On sait que dans des lampes à incandescence il se produit à la longue un dépôt charbonneux sur la surface intérieure de l'enveloppe de verre. Cette diminution graduelle de la transparence serait surtout nuisible pour les grands foyers lumineux par incandescence. Je me suis efforcé d'en déterminer la véritable cause ; et mes expériences démontrent qu'elle réside dans la présence des molécules d'oxygène à l'intérieur de la lampe. On constate en effet que la rapidité du dépôt est en relation directe avec la pression du gaz intérieur ; on arriverait à une lenteur infinie, ou, en d'autres termes, à la cessation du dépôt, si l'on obtenait et conservait le vide absolu à l'intérieur du globe de verre. Une molécule d'oxygène non enlevée se combine avec le charbon, près de sa réunion au conducteur métallique, région dans laquelle la température ne peut pas atteindre celle de la fusion du conducteur ; il se forme ainsi une molécule d'oxyde de carbone ; puis cette molécule, venant frapper la partie incandescente dont la température est assez élevée pour produire la dissociation, projette le carbone contre la surface intérieure de l'enveloppe de verre et rend l'oxygène disponible pour se combiner à nouveau.

« La réalisation du vide absolu dans un appareil à incandescence est rendue particulièrement difficile par la ténacité avec laquelle les charbons et les métaux retiennent les gaz qu'ils ont emmagasinés dans leurs pores. Sous l'influence de l'élévation de température que fait naitre le passage du courant électrique, ces gaz se dégagent d'abord en grande partie ; mais le dégagement devient bientôt d'une telle lenteur qu'il semble qu'on soit en présence d'un phénomène obéissant à une loi asymptotique. Ce fait, que j'ai pu nettement constater, montre que tout appareil destiné à produire, sur une grande échelle, la lumière incandescente, devrait être muni d'un appareil susceptible d'emmagasiner constamment, à toute époque du fonctionnement de la lampe, les gaz dégagés en faible quantité par les charbons et les métaux chauffés.

« Il est à remarquer, d'autre part, que les gaz dégagés pendant le passage du courant et non enlevés de l'appareil sont réabsorbés ensuite par les charbons pendant la période de refroidissement. Par conséquent, la présence d'une faible quantité de gaz dans une lampe à incandescence a pour conséquence d'obli-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ger le charbon à des dégagements et à des réabsorptions périodiques ; de là un travail mécanique imposé à ses molécules et, par suite, une des causes principales de la destruction plus ou moins prochaine de la lampe. Pour donner à un grand foyer d'incandescence des conditions sérieuses de durée, il faut s'affranchir de la dangereuse influence des gaz même les plus raréfiés ; j'ai reconnu que cette difficulté peut se résoudre en recourant à l'emploi d'appareils absorbants. »

La direction des phares aux États-Unis a entrepris une étude dans le même sens ; et M. le lieutenant John Mills a présenté à ce sujet un rapport qui s'accorde avec les conclusions de M. Lucas, et dont nous donnons un résumé. Voici les conditions auxquelles doit satisfaire un foyer lumineux destiné à l'éclairage d'un phare :

Pour réduire au minimum les dimensions et les frais des appareils optiques, il faut établir la source lumineuse de telle façon que la plus grande quantité de lumière possible soit limitée dans un espace angulaire très restreint et dirigée sur l'endroit où l'on veut rendre la lumière visible, ce qui nécessite des rayons d'une très grande intensité et d'une forte puissance de pénétration.

La source lumineuse présentant toujours en pratique des dimensions appréciables par rapport à sa distance des surfaces les plus proches de l'appareil optique, les rayons dévient nécessairement un peu de la direction qu'on veut leur donner. Pour avoir un rendement élevé avec un appareil économique, il faut donc que la source lumineuse ait des dimensions relativement faibles.

Il est encore nécessaire que l'intensité lumineuse soit constante ; la forme et la position du foyer ne doit pas varier ; et si ces conditions ne peuvent être remplies d'une façon absolue, il faut au moins que les variations soient parfaitement réglées. Enfin les frais d'entretien doivent être modiques.

De toutes les lumières connues, c'est la lampe à arc qui donne la plus grande intensité. Sa surface éclairante est très petite ; mais comme elle manque de fixité, la faible dimension de la surface lumineuse est plutôt un inconvénient qu'un avantage. Il faut, en effet, des appareils bien plus grands que si la lumière était fixe, afin de diminuer le mauvais effet d'un grand nombre de petits mouvements qui nécessitent des réglages souvent répétés.

Il existe, pour l'éclat, une grande différence entre les lampes à courants continus et celles à courants alternatifs.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M. J. Mills reconnaît que la position verticale des charbons est la plus avantageuse dans les lampes à courants continus ; mais, même dans ces conditions, la direction du maximum d'intensité s'écarte de l'angle de 45° avec l'horizontale. C'est pour cette raison, et aussi à cause de la plus grande difficulté qu'il y a à maintenir la lumière au foyer de la lentille, que, pour l'éclairage des phares, on a abandonné toutes les lampes à courant continu. Le seul appareil employé jusqu'à présent est la lampe à courants alternatifs de Méritens, munie d'une lentille spéciale avec sa machine magnéto-électrique à courants alternatifs.

La lampe à incandescence dans le vide remplissant la plupart des conditions imposées par le programme que nous venons d'énoncer, on a entrepris à ce sujet une série d'expériences fort intéressantes. On a établi des lampes de ce système présentant une intensité bien plus forte que celle qu'on leur donne généralement, et devant être employées avec une lentille de premier ordre.

Les expériences préliminaires ont montré que cette lampe pouvait fournir d'une façon continue une intensité de 450 bougies. La facilité avec laquelle une lampe de cette espèce peut s'éteindre et s'allumer la désigne tout naturellement pour les foyers intermittents, où elle a l'avantage de simplifier l'appareil optique et de supprimer le mécanisme tournant.

La simplicité de la lampe, son réglage facile, le peu de surveillance qu'elle exige, la facilité avec laquelle on peut l'adapter à une lentille quelconque de premier ordre sans déranger un appareil existant, toutes ces considérations plaident en faveur du système. On peut ajouter encore la perfection à laquelle on est parvenu dans la construction des machines électriques et des moteurs qui les commandent.

Il est donc à désirer, suivant les conclusions de M. Lucas et de M. Mills, que des recherches plus amples soient entreprises sur l'éclairage des phares par les lampes à incandescence.

PHOTOMÉTRIE ÉLECTRIQUE (1)

§ 694. — La photométrie a pour but de comparer entre elles les différentes sources lumineuses. On dit que deux sources ont la

(1) Nous ne saurions trop recommander sur ce sujet l'article de M. Mascart, inséré dans le *Bulletin de la Société internationale des électriciens* de mars 1888.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

même intensité quand, placées de la même façon par rapport à une même surface, elles l'*éclairent* également. Cette égalité de *clarté* se juge avec l'œil ; et, si cette appréciation est assez facile pour deux sources analogues, il n'en est plus de même quand elles sont différentes, comme la lumière électrique et celle d'une lampe Carcel, dont les colorations ne sont pas semblables. Aussi la photométrie électrique est très imparfaite ; elle ne donne que des résultats approximatifs.

§ 695. **Unités photométriques.** — L'unité française de lumière est le *bec Carcel* déja indiqué au § 560, et spécifié comme il suit par Dumas et Regnault :

Diamètre extérieur du bec.	23mm,5
Id. du courant d'air intérieur.	17 ,0
Id. id. extérieur.	45 ,5
Hauteur totale du verre	290 ,0
Distance du coude à la base du verre.	61 ,0
Diamètre extérieur au niveau du coude	47 ,0
Id. extérieur du verre au haut de la cheminée.	34 ,0
Épaisseur moyenne du verre.	2 ,0

On emploie l'huile de colza épurée, et la lampe en consomme 42 grammes à l'heure.

Diverses unités sont encore admises avec le bec Carcel ; le tableau suivant en donne les valeurs relatives.

§ 696. **Valeurs relatives des diverses unités photométriques.**

NOMS DES UNITÉS	CARCEL	CANDLE (bougie anglaise)	KERZE (bougie allemande)	BOUGIE de l'Étoile
Carcel.	1	8,35	7,5	de 6 au paquet 7,6 de 5 au paquet 5,4
Candle (bougie anglaise).	0,120	1	0,90	0,91
Kerze (bougie allemande).	0,134	1,11	1	1,01
Bougie de l'Étoile de 6 au paquet.	0,131	1,10	0,986	1
Étalon des électriciens 1cmc de platine à la température de solidification.	2,08	17,37	15,6	15,8

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 697. **Intensités lumineuses.** — On appelle intensité lumineuse d'une source la quantité de lumière versée par cette source sur une surface égale à l'unité et placée à l'unité de distance. Quand on fait varier la distance d'une source lumineuse à la surface éclairée, les quantités de lumière versées sur cette surface sont en raison inverse du carré de la distance. Par conséquent, I étant l'intensité lumineuse d'une source, la quantité de lumière envoyée sur l'unité de surface à la distance r sera $\frac{I}{r^2}$.

Si deux sources lumineuses L et L′, ayant des intensités I et I′, sont placées à des distances d et d' d'une même surface, et y produisent le même éclairement, les intensités sont proportionnelles aux carrés des distances. En effet, la quantité de lumière versée par L est égale à $\frac{I}{r^2}$; celle que fournit L′ est $\frac{I'}{r'^2}$.

L'éclairement étant le même, on a

$$\frac{I}{r^2} = \frac{I'}{r'^2},$$

d'où

$$\frac{I}{I'} = \frac{r^2}{r'^2}. \qquad (1)$$

Pour comparer deux lumières on se base sur ce principe. On fait varier leur distance à un écran jusqu'à ce que l'on obtienne la même sensation lumineuse ; et, en appliquant la formule (1), on a le rapport de leurs intensités.

Il faut avoir bien soin, dans cette expérience, de protéger l'œil contre toute lumière étrangère.

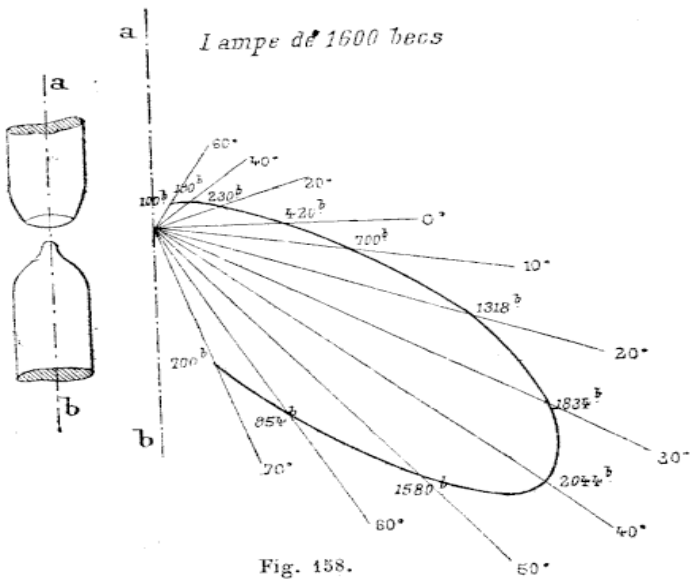


Fig. 158.

§ 698. **Influence de la direction.** — Une source de lumière n'étant jamais un point lumineux homo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Lampe de 200 *becs.*

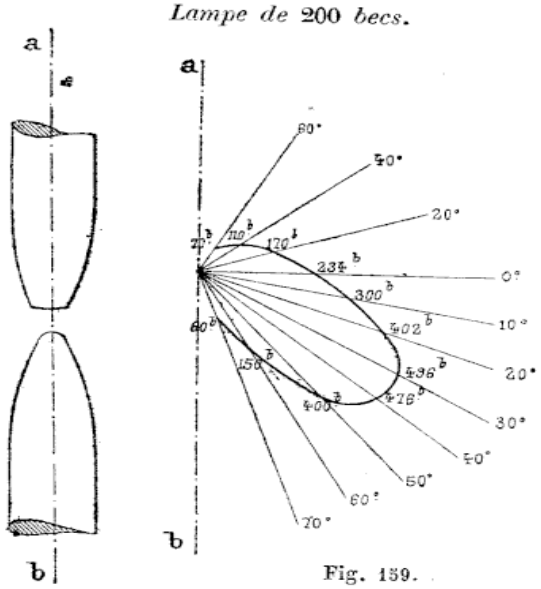


Fig. 159.

gène, la quantité de lumière envoyée varie non seulement avec la distance, mais encore avec la direction. Ainsi, dans les lampes à main, les charbons n'étant pas dans le prolongement l'un de l'autre, l'intensité n'est pas symétrique par rapport au plan mené perpendiculairement aux axes parallèles des charbons au milieu de l'arc voltaïque. Elle n'est symétrique que par rapport à un seul plan passant par les axes des

Lampe de 4000 *becs.*

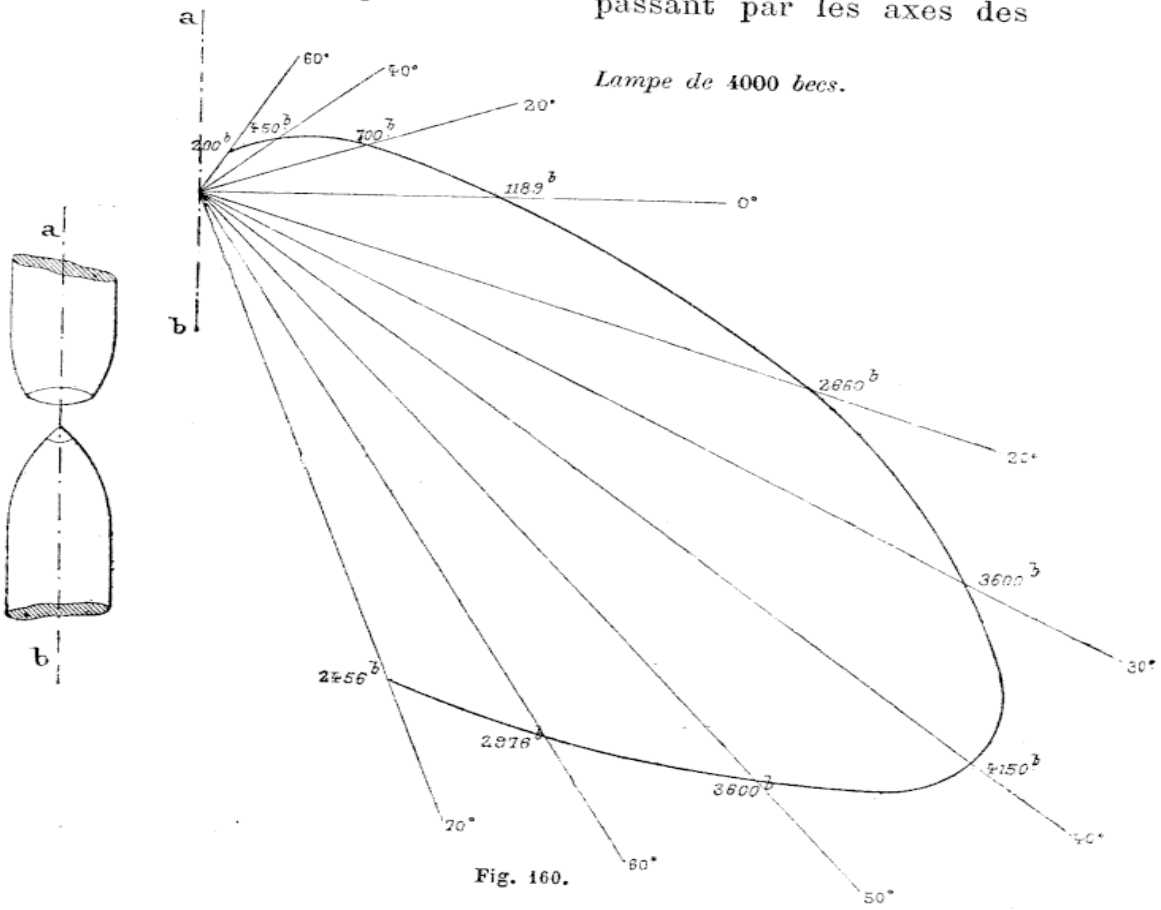


Fig. 160.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

deux charbons. Les figures 158, 159, 160 donnent dans ce plan de symétrie *ab* les intensités lumineuses suivant diverses directions. Sur chaque direction on a porté une longueur proportionnelle à l'intensité lumineuse observée. L'échelle est de $0^m,0025$ pour 100 becs Carcel dans les figures 158, 160; elle est de 0,005 dans la figure 159. Les directions sont comptées à partir du plan perpendiculaire à l'axe des charbons. L'axe du charbon négatif est dans le prolongement d'une génératrice du charbon positif. L'aspect de ces courbes montre pourquoi l'on incline ces lampes de façon à envoyer dans une direction à peu près horizontale les rayons les plus intenses.

§ 699. **Photomètre de Rumford.** — Devant un écran blanc E (fig. 161) est placée une tige opaque T ; les deux sources lumineuses S, S′ que l'on compare sont situées de chaque côté de la tige, et donnent des ombres *o* et *o′*. L'ombre *o* n'est éclairée que par la source S′, et *o′* n'est éclairée que par S. On fait varier les distances des sources à l'écran jusqu'à ce que les deux ombres se trouvent également éclairées. Soient *r* et *r′* les distances à l'écran, on a d'après la formule (1) du § 697 :

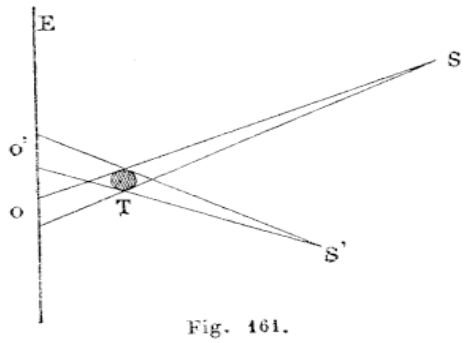


Fig. 161.

$$I = \frac{r^2}{r'^2} I'.$$

§ 700. **Photomètre de Bunsen.** — Cet appareil se compose d'une feuille de papier E (fig. 162), au milieu de laquelle est une tache d'huile ou de stéarine *a*. Les deux sources *s* et *s′* sont placées de chaque côté de cette feuille. Quand la tache présente la même apparence sur les deux faces, elle est également éclairée ; et, si *r* et *r′* sont les distances des sources à la feuille, on a

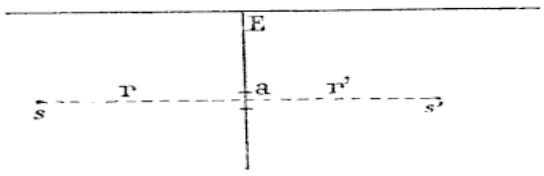


Fig. 162.

$$I = \frac{r^2}{r'^2} I'.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 701. **Photomètre de Foucault.** — Un écran opaque A percé d'une fenêtre F est placé devant une plaque translucide E (fig. 163) ; les deux sources S et S′ envoient de la lumière à travers la fenêtre et éclairent les espaces *o* et *o′* ; on modifie leur distance jusqu'à ce que ces espaces paraissent également éclairés. En faisant varier la distance de l'écran A à la plaque E, on amène les espaces *o* et *o′* à se toucher, ce qui rend l'observation plus facile.

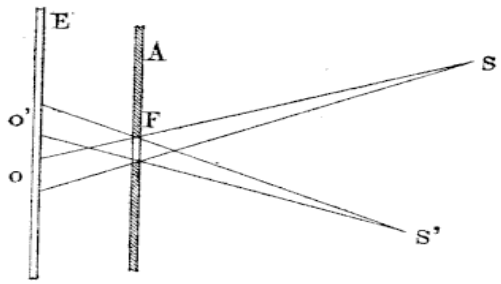


Fig. 163.

Dans les photomètres de ce système généralement employés, la plaque translucide est formée d'une glace légèrement colorée en bleu verdâtre, sur l'un des côtés de laquelle est collée une feuille de papier blanc. La glace est appliquée sur un cadre en bois.

L'écran opaque est percé d'une fente à bords taillés en biseau ; il est porté par une planchette qui coulisse dans des rainures adaptées au support de l'appareil, et peut être placé devant la face du verre garnie de papier. L'observateur met sa tête devant la face opposée dans un évasement que présente la boite contenant tout l'appareil, et il a soin de se recouvrir d'un voile noir.

§ 702. **Méthode photométrique employée dans les ateliers de MM. Sautter et Lemonnier.** — L'appareil comprend le support de la lampe et le photomètre proprement dit.

Support. — Le support (fig. 164) comporte un pied A auquel sont fixées deux tiges-guides B, C, et une règle graduée D. La lampe est portée par le chariot E glissant le long des tiges.

Le plan vertical dans lequel doit être dirigée la lumière électrique est déterminé par les fils verticaux G, G. La hauteur de la lumière est indiquée par l'index H.

L'écran mobile I sert à intercepter les rayons directs de la lumière au photomètre.

J est un miroir mobile autour d'un axe horizontal, porté par un curseur L qui se meut le long de la règle D.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Une lunette N projette l'image des charbons sur un écran blanc *o*, gradué de telle sorte que chacun des traits correspond à un demi-millimètre d'écart entre les charbons.

Photomètre. — Sur une table en bois (fig. 165), se meut un châssis en fer BBOO, tournant autour d'un axe vertical et roulant sur des cercles E, F.

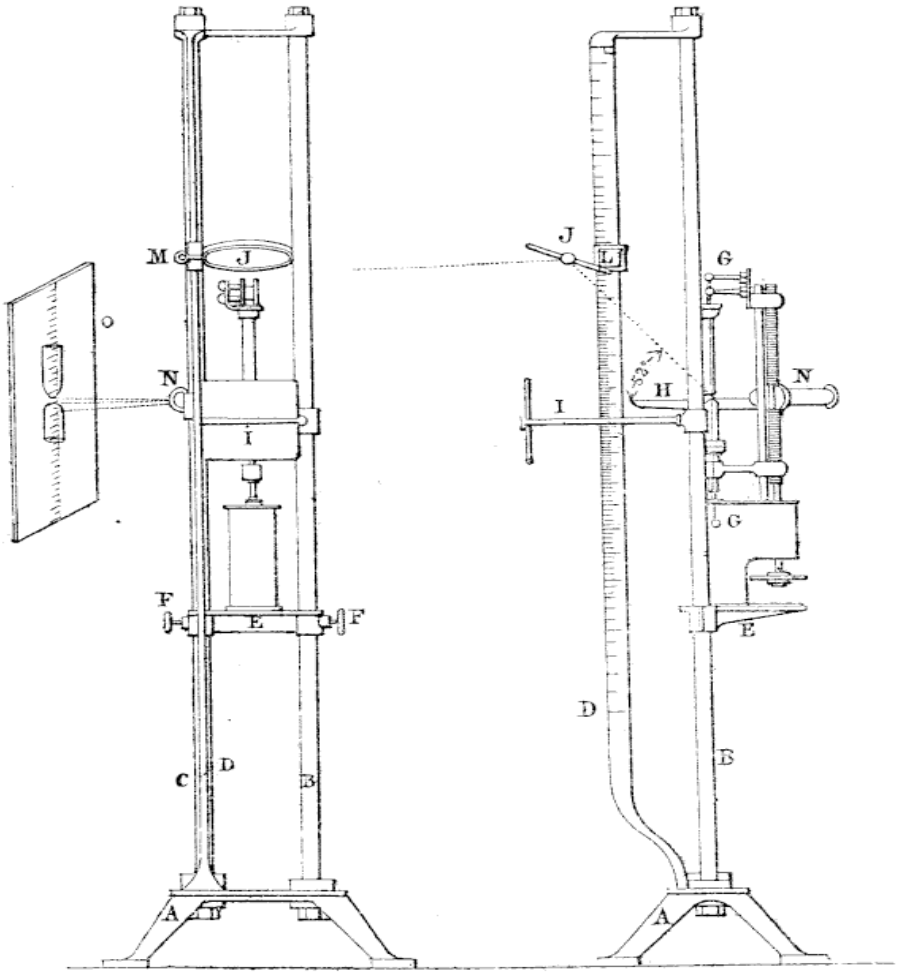


Fig. 164.

Le châssis porte un support en fonte H, sur lequel est monté un photomètre ordinaire de Foucault G mobile autour d'un axe vertical.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Un chariot L, sur lequel on place la lumière-étalon M, peut glisser dans des rainures du chariot ; et son mouvement est commandé par la vis J que l'on actionne avec un volant I.

OO est une règle graduée de 5^{mm} en 5^{mm}, dont le zéro est placé à l'aplomb de l'écran du photomètre.

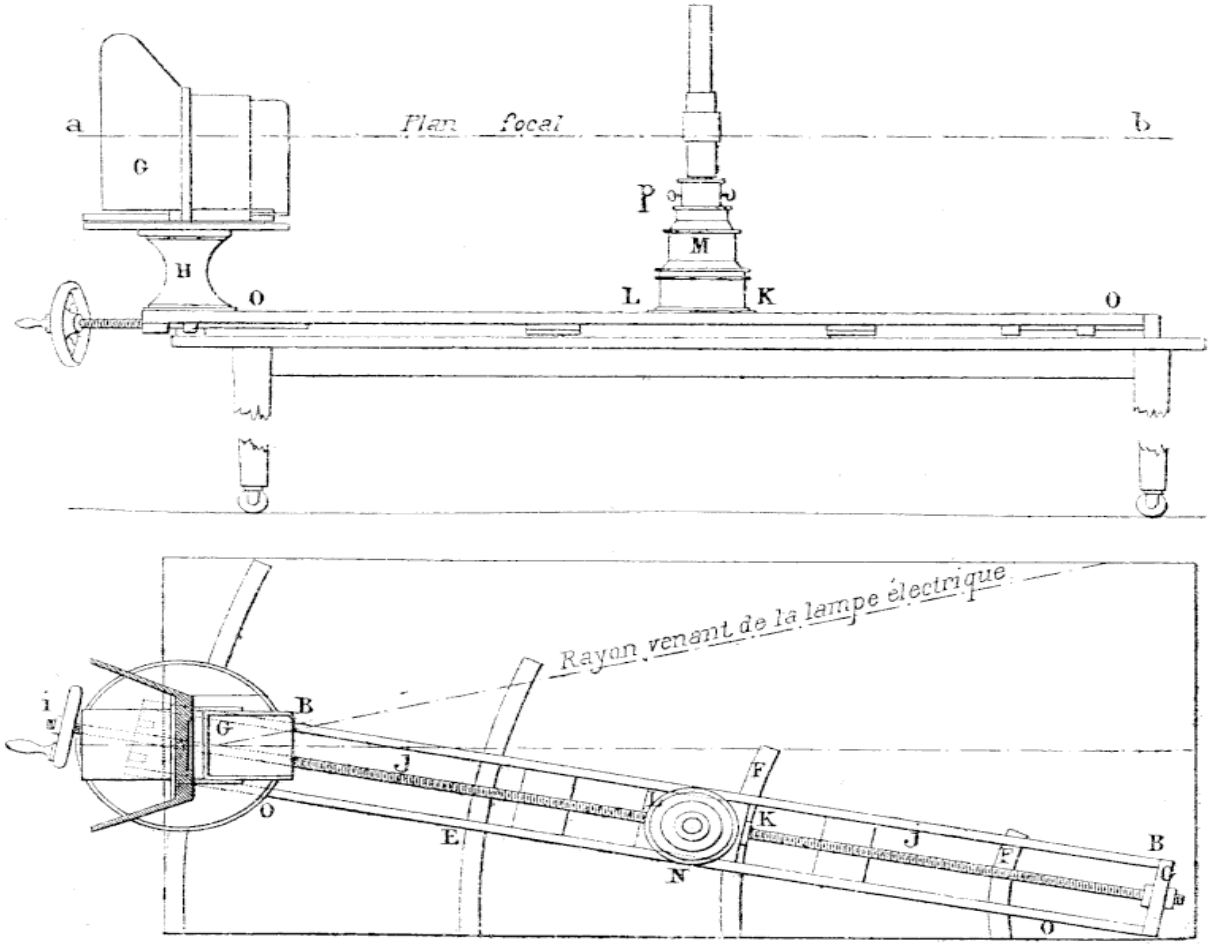


Fig. 165.

Manière d'opérer. — En manœuvrant le support E (fig. 164), on amènera le charbon supérieur de la lampe à affleurer à la partie supérieure de l'index H, et à son centre quand ce point lumineux sera placé dans le plan vertical déterminé par les deux fils G, G. On commencera par faire l'observation des rayons horizontaux ; et, pour cela, l'écran mobile I sera tourné sur le côté.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On fera ensuite les expériences avec des angles différents ; l'écran I sera alors ramené en avant pour masquer la lumière directe au photomètre, et l'on tournera le miroir sur son axe de manière à envoyer au photomètre les rayons qu'il réfléchit. On mesurera les quantités de lumière émises suivant des angles variant de 10° en 10°, en déplaçant le miroir verticalement.

L'observateur placé derrière le photomètre amènera, en manœuvrant la vis J, la lumière-étalon à la distance nécessaire pour que les bandes lumineuses produites sur l'écran lui paraissent semblables.

Pour arriver à ce résultat, il aura soin de donner aux bandes lumineuses des largeurs presque égales par une orientation convenable du photomètre, en le faisant tourner sur son axe vertical et en déplaçant le chariot autour de son pivot.

En faisant glisser l'écran à fente dans les rainures, il amènera les deux bandes lumineuses au contact.

On lit alors sur la règle OO la division à laquelle est arrêté l'index N. Soit D cette distance, I étant l'intensité de la lumière étalon, et d la distance à laquelle est placée la source lumineuse étudiée, on a

$$I = \frac{D^2}{d^2}\,\alpha.$$

α est le coefficient de réflexion afférent au miroir. Avec un miroir argenté on a trouvé pour α des chiffres variables suivant l'angle d'incidence du rayon.

$\alpha = 1$ correspond à l'observation directe de la lumière.

pour 10°	$\alpha = 1{,}47$
20°	1,35
30°	1,24
40°	1,176
50°	1,173
60°	1,167
70°	1,162

Pour les intensités lumineuses dépassant 1.000 Carcel, il est bon de prendre un étalon supérieur à 1 Carcel ; on se sert alors du bec de gaz à régulateur Giroud, représentant environ 7 Carcel.

§ 703. **Essai des lampes à incandescence.** — Pour terminer cette étude, nous empruntons au cours de M. Leblond

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les détails ci-après sur les essais auxquels les différentes lampes peuvent donner lieu.

Comme nous l'avons déjà dit, dans un éclairage par incandescence, toutes les lampes d'un circuit sont placées en dérivation ; elles ont donc entre leurs bornes la même différence de potentiel. Pour que l'installation fonctionne régulièrement, il importe que toutes les lampes donnent le même éclat pour la même différence de potentiel.

Le fabricant classe ses lampes en divers types suivant l'éclat qu'elles fournissent et la différence de potentiel qu'elles exigent. Pour chaque type sont établies des lampes-étalons. On met la lampe en communication avec une source électrique, et un volt-mètre est placé en dérivation entre ses bornes. On fait varier l'intensité du courant traversant la lampe en intercalant des résistances jusqu'à ce que le volt-mètre indique une différence de potentiel déterminée. On compare alors au moyen d'un photomètre l'intensité lumineuse de cette lampe avec celle d'une lampe Carcel ou d'une bougie. On a ainsi l'intensité lumineuse de la lampe-étalon et la différence de potentiel qui y correspond.

Pour procéder à l'essai d'une lampe, on dispose l'expérience comme l'indique la figure 166.

Dans deux salles voisines se trouvent un photomètre de Bunsen à tache de stéarine (§ 700), et un volt mètre de Marcel Deprez, dont les indications s'observent au moyen d'une échelle divisée que parcourt une image lumineuse réfléchie par un miroir collé sur le volt-mètre.

D'un côté de l'écran à tache de stéarine du photomètre se trouve à poste fixe la lampe-étalon L. De l'autre côté, l'on place à la même distance la lampe à essayer L′.

La lampe-étalon est reliée à la source électrique, avec interposition d'une boîte de résistances R placée dans la salle du volt-mètre. La lampe L′ est rattachée également à la source électrique, avec interposition d'une boîte de résistances R′ placée près du photomètre.

Les deux bornes de chacune des deux lampes peuvent être mises en communication avec les bornes du volt-mètre par des conjoncteurs C et C′.

Un premier opérateur se tient devant l'échelle divisée du volt-mètre, et un second opérateur est placé devant le photomètre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Manière d'opérer. — La lampe L′ étant placée à son poste,

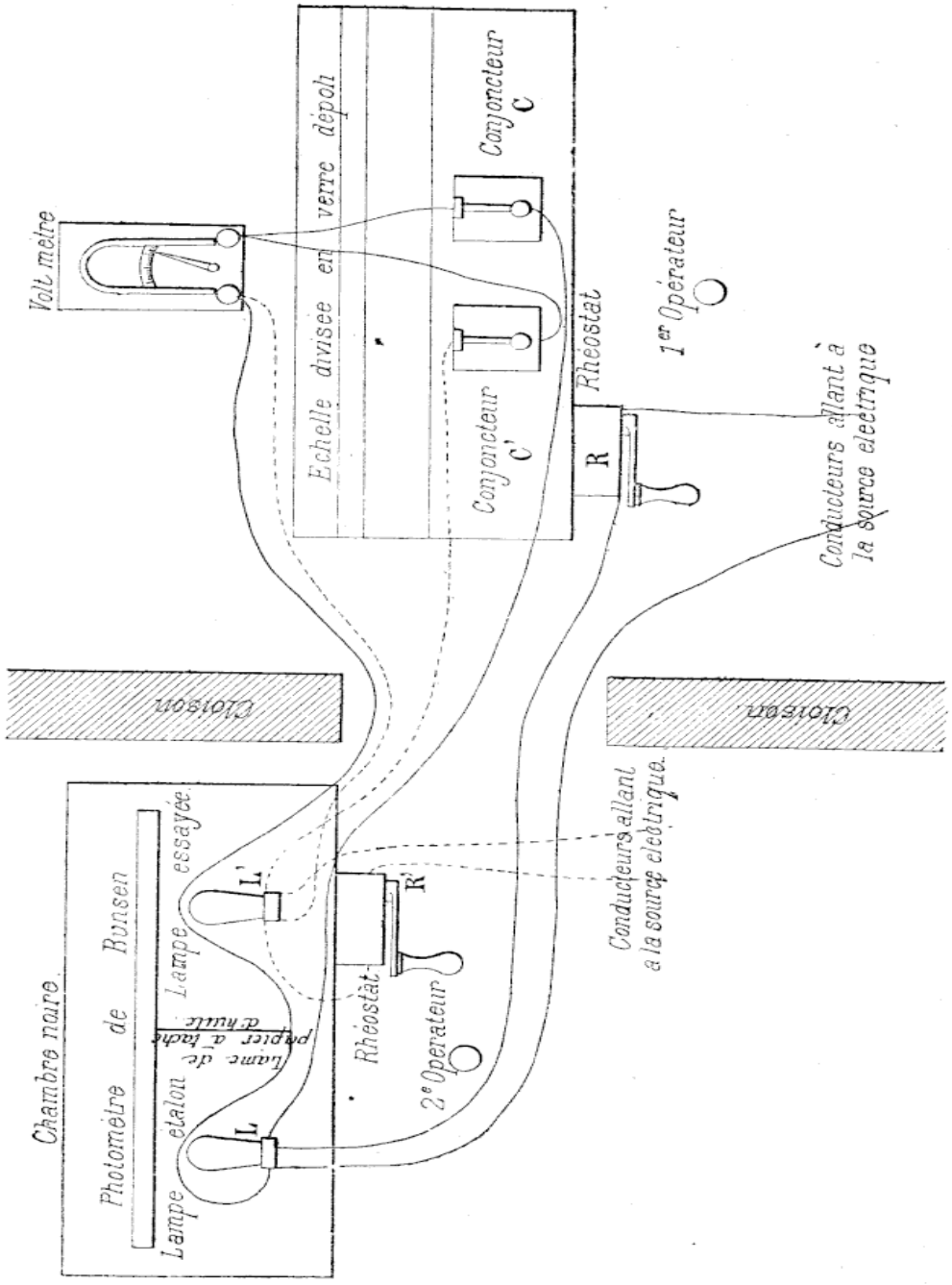


Fig. 166.

le premier opérateur commence par fermer le conjoncteur C, ce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui met le volt-mètre aux bornes de la lampe-étalon ; et il agit sur la résistance R de façon à amener la différence de potentiel à être celle de l'étalonnage.

Il fait alors un signal au second opérateur.

Celui-ci, agissant sur la résistance R′, fait varier l'intensité du courant passant dans la lampe L′, et, par conséquent, arrive à rendre son intensité lumineuse égale à celle de l'étalon. Il fait alors un signal au premier opérateur, qui, ouvrant le conjoncteur C, ferme C′, et attèle, par conséquent, le volt-mètre aux bornes de la lampe L′. Il lit la déviation, qui lui donne en volts la différence de potentiel aux bornes de la lampe L′ au moment où cette lampe acquiert l'intensité lumineuse de l'étalon. Puis il ouvre C′ et ferme C ; et les essais recommencent pour une autre lampe.

Ces opérations successives exigent très peu de temps.

La différence de potentiel nécessaire au fonctionnement normal est inscrite sur chaque lampe.

Remarquons que, si les mesures photométriques donnent des résultats peu dignes de confiance quand on compare deux sources lumineuses de nature et d'intensité différentes, elles peuvent être très suffisantes pour deux sources identiques comme nature et intensité, ce qui est le cas actuel.

N'oublions pas d'ajouter qu'avant de sceller les charbons dans leurs pinces en cuivre, on mesure leur résistance à froid au pont de Wheatstone, pour rejeter ceux dont la résistance s'écarterait trop de celle de l'étalon. Car l'intensité lumineuse fournie à potentiel égal ne serait pas identique dans deux charbons ne présentant pas la même résistance.

§ 704. **Vérification du fonctionnement des lampes à main et des machines Gramme.** — Pour vérifier le fonctionnement d'une lampe à main alimentée par une machine Gramme pendant la marche, on se sert d'un ampère-mètre intercalé dans le circuit et d'un volt-mètre en dérivation.

Quand la machine tourne à son allure normale et que la lampe est allumée, les indications de ces appareils doivent être à peu près conformes au tableau ci-après.

Si les chiffres fournis par le volt-mètre et l'ampère-mètre sont inférieurs à ces valeurs, c'est que la vitesse de la machine est trop faible ou qu'il existe dans le circuit un défaut de conductibilité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TYPE DE L'APPAREIL	INTENSITÉ du courant en ampères	DIFFÉRENCE de potentiel aux bornes du projecteur en volts	VITESSE de l'anneau induit en tours par minute
Appareil de 1.600 becs.	45	43	650
Id. de 2.500 id.	65	47	1.250
Id. de 4.000 id.	75	57	450
Appareil de 200 becs.	12	46	1.600
id. id.	12	42	1.500
Id. id.	12	38	1.400
Id. id.	12	27	1.300

Sans arrêter la machine, on pourra généralement reconnaître l'avarie en mesurant la résistance des différentes parties du circuit. On prendra, par exemple, la différence de potentiel entre les balais, entre les bornes de la machine, entre les bornes du projecteur, entre celles de la lampe à main.

Pour cela, il suffit de mettre les bornes du volt-mètre en communication avec les points considérés. La résistance r en chacun de ces points est calculée en divisant la différence de potentiel d ainsi déterminée par la valeur de l'intensité I lue à l'ampère-mètre :

$$r = \frac{d}{I}.$$

Ces résistances étant comparées aux nombres du tableau ci-dessous, on concluera :

1° A un défaut de conductibilité dans la partie correspondante du circuit, si l'une des résistances trouvées est trop forte ;

2° A un défaut d'isolement, si cette résistance est trop faible.

§ 705. **Tableau des valeurs moyennes des éléments des appareils photo-électriques de la Marine.**

TYPE DE L'APPAREIL	RÉSISTANCE de l'induit en ohms	RÉSISTANCE des électro-aimants en ohms	RÉSISTANCE du câble à deux conducteurs en ohms	INTENSITÉ du courant en ampères	DIFFÉRENCE de potentiel aux bornes de la lampe en volts	RÉSISTANCE de la lampe allumée en ohms	VITESSE de rotation en tours par minute
200 becs	1,22	3,04	0,127	12	46	3,8	1.600
1.600 id.	0,22	0,54	0,245	45	43	0,95	630
2.500 id.	0,08	0,14	0,280	65	47	0,72	1.250
4.000 id.	0,128	0,202	0,173	75	57	0,76	450

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

6E PIE. — CHAPITRE VIII

TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE

TÉLÉGRAPHIE

§ 706. **Généralités : Télégraphes à cadran et Morse ; Télégraphes multiples et duplex ; Télégraphie sous-marine.** — Tout système de télégraphie électrique comprend trois organes essentiels :

1° Un *manipulateur*, appareil producteur des signaux, placé au poste de départ de la dépêche ;

2° Un *récepteur* destiné à reproduire les signaux, et qui est situé au poste d'arrivée ;

3° Un *conducteur*, qui prend le nom de *ligne*, reliant entre eux les deux postes, et attelé à la pile qui doit donner naissance au courant. Le conducteur peut être formé soit d'un double fil constituant un circuit continu, soit, ordinairement aujourd'hui, d'un simple fil ; dans ce dernier cas les deux extrémités du conducteur, terminées chacune par une plaque, se rattachent à la terre, qui remplace un conducteur de retour de résistance sensiblement nulle. En principe, on peut mettre en terre aussi bien le fil du pôle positif de la pile que celui du pôle négatif. Mais si le conducteur doit traverser de l'eau, auquel cas il est recouvert d'une matière isolante, c'est le pôle positif qui est mis en terre, afin d'éviter que, par suite de dénudation du conducteur, le métal découvert ne soit promptement rongé.

Les lignes aériennes sont formées de fils de fer galvanisés, supportés par des pièces isolantes d'ordinaire en porcelaine. Les lignes souterraines ont leurs fils noyés dans du bitume. Enfin, les lignes sous-marines sont constituées avec des fils de cuivre recouverts de gutta-percha. Si elles doivent avoir un parcours

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

très étendu, les fils sont de plus enveloppés de filin goudronné ; et on en réunit un certain nombre sous forme d'un câble revêtu de fil de fer.

Le *télégraphe* à cadran a été longtemps employé pour le service à terre dans la marine. Comme un assez grand nombre de ces appareils sont encore en usage, nous en rappellerons brièvement le principe.

Le manipulateur se compose d'une planche horizontale, sur laquelle est un cadran en cuivre fixe, qui porte deux circonférences : l'une, intérieure, sur laquelle on voit d'abord une croix et les vingt-cinq lettres de l'alphabet; l'autre, extérieure, où sont inscrits les nombre 0, 1, 2, ... 25, soit en tout vingt-six indications doubles. Une manivelle, mobile autour du centre, est munie d'une poignée, et porte une fenêtre à travers laquelle se voient les indications précédentes. A cette manivelle est fixée, au-dessous du cadran, une plaque métallique circulaire avec treize cames sur son pourtour. Ces cames viennent faire osciller successivement un levier qui reçoit le courant d'une pile par son axe de rotation, et le transmet avec intermittence au poste d'arrivée, au moyen de son extrémité libre venant successivement buter contre une borne d'où part le conducteur. Les passages alternatifs du courant correspondent aux diverses positions de la manivelle au-dessus des treize chiffres pairs et des lettres situées sur le même rayon ; de leur côté, les interruptions du courant ont lieu pour les positions au-dessus des chiffres impairs. Ces alternances se transmettent à un électro-aimant qui fait partie du récepteur d'arrivée.

Ce récepteur comporte un mouvement d'horlogerie avec une roue d'échappement, qui est commandée par un levier que termine une palette en fer doux soumise aux actions successives de l'électro, dont elle forme ce qu'on appelle l'*armature*. La roue d'échappement commande à son tour une grosse aiguille, qui suit ainsi exactement les mouvements de la manivelle du manipulateur, en parcourant un cadran vertical nanti des mêmes indications que le cadran du départ. La corrélation entre le manipulateur et le récepteur est d'ailleurs réglée de façon que la manivelle et l'aiguille se trouvent simultanément au zéro, et, par suite, tombent toujours sur les mêmes indications dans leurs

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

parcours respectifs. Il nous reste à remarquer que chaque indication est double, c'est-à-dire concerne à la fois une lettre et un nombre ; mais il est toujours facile d'établir une convention, pour spécifier au poste d'arrivée l'interprétation qu'on doit y donner aux indications de l'aiguille.

Actuellement c'est le télégraphe Morse, modifié par M. Digney, qui se trouve employé d'une façon générale dans la marine ; il est d'un usage très simple. Les signaux sont produits au manipulateur par une série d'interruptions dans le courant électrique. Ces interruptions ont des durées variables qui sont transformées mécaniquement par les actions d'un électro-aimant sur une palette en fer doux formant son armature, et sont enregistrées par le récepteur. Elles se traduisent sur une bande de papier par des points et des traits à l'encre, dont les combinaisons constituent un alphabet conventionnel.

Nous donnerons ci-après une description complète du système.

En raison du grand pouvoir de transmission des lignes télégraphiques de longueur moyenne, une émission de courant d'un centième de seconde suffit pour transmettre un signal distinct. Comme les employés les plus exercés ne peuvent envoyer que cinq émissions par seconde, on pourrait, à la rigueur, dans les intervalles lancer un maximun de quatre-vingt-quinze émissions avec dix-neuf autres employés. D'où le principe de la *télégraphie multiple*. Elle se réalise par l'emploi de deux *distributeurs* tournant synchroniquement au poste manipulateur et au poste récepteur.

Dans un ordre d'idées analogue, on a été conduit à étudier l'expédition en sens contraire de dépêches simultanées par un même fil, ce qui constitue la *télégraphie Duplex*. Mais la solution du problème a été empruntée à une combinaison beaucoup plus élégante. Chaque manipulateur est en communication, d'une part, avec sa pile qui se ferme à la terre, et, d'autre part, avec un circuit bifurqué, qui va aussi à la terre. Le récepteur est à cheval sur ce circuit. Les résistances des fils sont tellement combinées que toute émission de courant d'un manipulateur laisse indemne le récepteur du même poste, qui n'est influencé que par les courants venant du second poste. Dans ce mode de combinaison, il peut arriver que deux émissions en sens contraire coïncident de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

telle sorte que la ligne ne reçoive aucun courant. Le signal sera cependant perçu par le récepteur auquel il est destiné ; car en pareille occurence la pile appartenant au même poste que ce récepteur se trouve en mesure d'activer accidentellement ce dernier.

Il nous reste, à propos de la télégraphie électrique en général, à donner une brève explication de la télégraphie sous-marine. En principe tout câble sous-marin est un condensateur à très large surface, dont le fil conducteur forme l'armature interne, et l'eau de la mer l'armature externe. Dès lors, à chaque émission de courant, l'électricité formée par la pile doit d'abord charger le câble avant de se perdre dans le sol après avoir traversé les spires de l'électro-aimant récepteur. De là nécessité d'un temps relativement très long pour obtenir une force capable d'imprimer le signal dans un Morse. *Vice versâ* quand on supprime le courant, le câble se décharge à travers le récepteur, et l'impression se prolonge beaucoup trop longtemps. Pour remédier à ce double et grave inconvénient, chaque extrémité du câble aboutit au plateau supérieur d'un grand condensateur (§ 578) dont la capacité est comparable à celle du câble tout entier. Le plateau inférieur de chaque condensateur est en relation avec une clef, qui constitue le *manipulateur*, et met à volonté en communication avec l'un ou l'autre pôle de la pile de son poste ou avec la terre. Par la manœuvre de la clef, on peut charger de deux manières différentes, ainsi que décharger le condensateur correspondant; celui-ci, à son tour, charge ou décharge par influence, et d'une manière inverse à la sienne, le condensateur du poste d'arrivée, dont le plateau inférieur est mis, pendant les émissions du premier poste, en communication avec un récepteur relié à la terre par un fil.

Ce récepteur reçoit dès lors des courants d'électricité positive ou négative, tantôt de sens direct, tantôt de sens inverse. Il est d'ailleurs très délicat et consiste parfois dans un *galvanomètre à miroir* de Thompson (§ 565), dont l'aiguille éprouve des oscillations plus ou moins étendues tant à droite qu'à gauche de sa position moyenne. Ces oscillations donnent dans le miroir des traits lumineux plus ou moins longs, s'étendant vers la droite ou vers la gauche, et qui permettent de constituer un alphabet conventionnel.

D'ordinaire on substitue aujourd'hui au récepteur précédent le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

siphon enregistreur (*recorder*, en anglais) de Thompson. Ce siphon est capillaire, et plonge par sa petite branche verticale dans un auget plein d'encre; sa longue branche verticale est recourbée à son bout, et vient ainsi se présenter devant une bande de papier analogue à celle du Morse, et qui se déroule verticalement sous l'influence d'un resssort d'horlogerie. Il peut, en outre, osciller de droite à gauche, et marquer ainsi sur le papier des ondulations de diverses formes, qui constituent l'alphabet. Pour produire l'écoulement de l'encre à travers le canal capillaire du siphon, on emploie une petite machine électrique qui électrise l'encre. Enfin les oscillations du siphon s'obtiennent par la transmission très amplifiée de pareils mouvements que prend une bobine traversée par les effluves successives du câble. Cette bobine est suspendue verticalement avec son pied tiré par des contrepoids ; de plus, un fort électro, alimenté par une pile locale, l'entoure et l'actionne plus ou moins énergiquement et longtemps, suivant l'intensité et la durée desdites effluves.

§ 707. **Description complète du Morse-Digney. Manipulateur.** — Dans le premier appareil télégraphique inventé par Morse, les signaux étaient reproduits par des traces en creux qu'un style laissait sur une bande de papier. Le perfectionnement apporté par M. Digney consiste en ce que ces signaux sont imprimés à l'encre.

Le manipulateur (Pl. XXV, fig. 2) se compose, dans le type Digney, d'un levier métallique *l*, à poignée en bois B, pouvant osciller autour d'un axe horizontal, et communiquant toujours avec la ligne par l'intermédiaire de la borne L. Le levier porte en dessous de la poignée B une petite pointe qui se trouve en regard d'un contact métallique. Ce dernier est en communication avec le fil de la pile par la borne P. Au repos, le levier maintenu par le ressort *r* est en relation, au moyen de la borne R, avec le récepteur du même poste, où l'on peut ainsi recevoir les dépêches transmises par la ligne.

Quand on appuie sur la poignée en bois B, on interrompt, d'une part, la communication entre la ligne et le récepteur; et, d'autre part, on relie la pile à la ligne; le courant est donc envoyé au poste correspondant. Suivant qu'on appuie plus ou moins longtemps sur la poignée du manipulateur, on produit une émission

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de courant de plus ou moins de durée, et le récepteur du poste d'arrivée enregistre un trait ou un point.

La partie postérieure du levier est reliée à la base du massif par un petit ressort à boudin *b*, pour assurer la communication qui peut être défectueuse par les pivots. Le manipulateur doit être fixé solidement sur la table télégraphique.

§ 708. **Récepteur du Morse-Digney**. — Le récepteur (Pl. XXV, fig. 3) se compose d'un électro-aimant dont le fil communique, d'une part, avec la ligne, et, d'autre part, avec la terre. L'armature qu'il commande est portée par un levier mobile sur un axe horizontal. L'autre extrémité du levier, appelée *couteau*, vient appuyer une bande de papier contre une molette imbibée d'encre, quand l'armature est attirée, c'est-à-dire quand le courant passe dans l'électro-aimant. Un mécanisme d'horlogerie sert à entraîner, d'un mouvement uniforme, la bande de papier sans fin entre deux cylindres à surface rugueuse.

Quand on appuie sur le manipulateur, le couteau du poste opposé presse le papier sur la molette, et y imprime un trait dont la longueur dépend de la durée du contact. Le contact cesse dès que le circuit est ouvert.

Le principe de l'appareil étant établi, nous allons en décrire les organes essentiels.

Le mouvement de rotation destiné à entraîner la bande de papier et à faire tourner la molette imprimeuse est fourni par un fort ressort. Un organe spécial, nommé *arrêtage*, limite le remontage de ce ressort.

La bande de papier est entraînée par deux cylindres rugueux de cuivre C, C′, entre lesquels elle passe. Celui du bas est commandé par un pignon ; celui du haut est appuyé par un ressort *r* sur le premier, qui lui transmet son mouvement. Une vis V a pour but de régler le ressort et par suite la pression entre les deux cylindres. Un levier L, tournant autour d'un axe O, sert à soulever le cylindre supérieur quand on veut introduire la bande de papier, ou quand on veut empêcher la bande de se dérouler avec le rouage marchant à blanc.

La molette *m* située au-dessus du couteau D est mise en mouvement par le rouage d'horlogerie ; elle frotte contre un tampon en drap *t*, chargé d'encre grasse soutenu par un étrier ; ce tampon

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

n'appuie sur la molette que sous l'action de son poids, et est entraîné par un engrenage que commande le mouvement d'horlogerie, ou quelquefois simplement par la molette même dans son mouvement.

Un volant régulateur permet de régler la vitesse. C'est un axe vertical en acier, mis en mouvement par une roue dentée et une vis sans fin. Deux ailettes en cuivre articulées, entraînées dans le mouvement de rotation, s'écartent d'autant plus de la verticale que le mouvement est plus rapide. La résistance de l'air devenant plus considérable modère la vitesse du rouage. Par ailleurs, tout le mouvement d'horlogerie s'arrête ou se meut à volonté par le simple mouvement d'un levier *k*.

L'électro-aimant est formé de deux noyaux en fer doux réunis par une traverse. Sur chaque noyau est montée une bobine en fil de cuivre ayant 210 millièmes de millimètre de diamètre. La résistance d'une bobine est de 250 ohms. La palette P de l'armature est ramenée par le ressort R dans la position de repos ; le jeu est limité par deux butoirs E, E'. Quand l'appareil est au repos, l'armature doit être à environ $1^{mm},2$ de l'électro-aimant. Cette position, déterminée par le butoir E, sert à empêcher l'armature de venir au contact avec l'électro-aimant. Elle doit s'en approcher autant que possible, quand le courant passe, mais sans contact, pour éviter la production du magnétisme rémanent. Pour cela, on colle du papier sous l'armature. Le ressort R est réglé par un tube portant sur son contour une rainure hélicoïdale, et que l'on manœuvre au moyen d'un bouton B. L'hélice guide le mouvement vertical d'un petit piston qui supporte le ressort R.

Un couteau D est porté par l'armature ; c'est lui qui applique la bande de papier sur la molette. Une vis V' sert à régler la position du couteau. Il faut que, quand l'armature vient au contact du butoir E, le couteau presse légèrement la bande sur la molette, assez pour produire l'impression sans pourtant arrêter le déroulement du papier.

Le papier est contenu en M entre deux joues circulaires montées sur un axe horizontal que supporte une colonne. La joue placée en avant peut se démonter pour l'introduction de nouveau papier.

§ 709. **Installation d'un poste télégraphique.** — Un poste télégraphique comporte :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1° Un récepteur.

2° Un manipulateur.

3° Une sonnerie destinée à avertir d'un poste à l'autre qu'une dépêche va être transmise.

4° Une boussole servant à indiquer que le courant transmis circule dans la ligne : on ne peut pas conclure de son mouvement que le récepteur du poste correspondant fonctionne, mais on sait que le courant a été envoyé ; la boussole sert aussi à signaler le passage du courant transmis par le second poste dans le cas où le récepteur du premier serait dérangé.

5° Une pile, dont on peut régler le nombre d'éléments employés au moyen d'un commutateur, afin de proportionner l'intensité du courant à la résistance de la ligne.

6° Un paratonnerre pour préserver les appareils des effets de la foudre. Ce système consiste d'ordinaire en un fil très fin qui relie le fil de la ligne au manipulateur, et qui se fond si le courant devient très fort par induction du fil de la ligne sous l'influence de l'électricité atmosphérique. De plus, entre ce fil et le fil fin, il se trouve une plaque adentée, en regard de laquelle il existe, à faible distance, une deuxième plaque semblable reliée au sol. Les courants violents s'écoulent alors dans la terre sous forme d'étincelles éclatant entre les adents en regard.

7° Un commutateur de ligne destiné à mettre les lignes en communication, soit avec la sonnerie, soit avec les appareils de transmission et de réception.

La figure 167 montre la disposition théorique d'un poste concernant une direction de ligne. Quel que soit le nombre de directions du poste, les appareils propres à chacune d'elles remplissent les mêmes fonctions ; et chaque direction de ligne est disposée comme nous venons de l'indiquer.

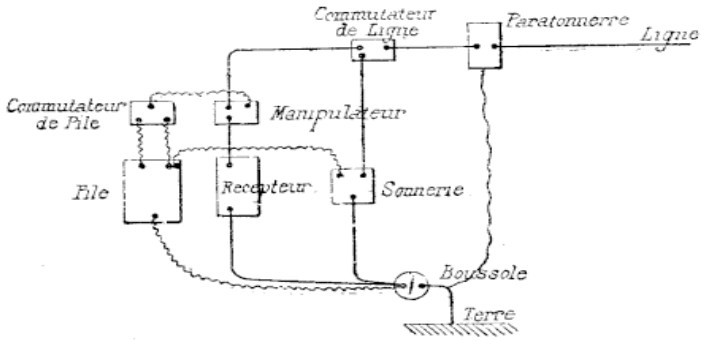


Fig. 167.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 710. **Relai de sonnerie.** — La mise en mouvement d'une sonnerie exigeant une force assez considérable, le courant de la ligne n'est généralement pas envoyé directement dans l'électro-aimant de la sonnerie ; il sert seulement à fermer un contact qui met cet électro-aimant en communication avec la pile du poste. C'est ce qu'on appelle un *relai*.

La Pl. XXV, fig. 4, représente une sonnerie Faure à deux directions, adoptée dans le service des chemins de fer. Le dessin montre la partie antérieure de l'appareil, qui comprend les deux relais. La sonnerie trembleuse est placée en arrière ; c'est un timbre en face duquel se trouve un marteau m, dont le manche est une tige élastique qui oscille sous l'action de l'électro-aimant alimenté par la pile locale (et caché sur notre figure). Chaque relai est en communication avec une ligne, et ils fonctionnent tous les deux de la même façon. Quand le courant de la ligne passe dans l'électro aimant de relai E, qui est double pour avoir plus de force, la tige t de l'armature, qui oscille entre les vis p et p', dégage le levier lo, contre lequel elle est appuyée par un ressort butant sur la vis V ; ce levier tournant autour du point o vient frapper le butoir g par le ressort amortisseur r, et ferme le circuit de la pile locale qui actionne alors la sonnerie trembleuse. Un plateau D monté sur le levier lo, venant se présenter à une fenêtre pratiquée dans la boite, indique quelle est la ligne qui a attaqué. La sonnerie trembleuse fonctionne jusqu'à ce que l'employé vienne relever le levier lo, en appuyant sur sa petite extrémité au moyen du bouton b.

La sonnerie Faure peut être montée pour une ou deux directions.

TÉLÉPHONIE

§ 711. **Théorie.** — La théorie du téléphone repose sur les courants induits. D'après le § 554, quand on fait varier l'intensité du champ magnétique d'un aimant près d'un circuit métallique fermé, on engendre dans ce conducteur un courant induit, d'autant plus intense du reste que le circuit est constitué par un plus grand nombre de contours. Dès lors, si un aimant restant fixe

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dans l'intérieur d'une bobine, on modifie l'intensité de son champ magnétique en déplaçant devant ses pôles une armature de fer doux, on fait naître dans le fil des courants induits relativement énergiques.

Ces courants sont d'ailleurs augmentés par le fait que le fer doux joue en même temps le rôle d'un aimant qui, d'après le § 554, induit de son chef la bobine en se déplaçant par rapport à elle.

Il résulte de tout cela qu'une plaque de fer doux *vibrant* devant l'aimant, produit dans la bobine une série de courants dont le sens et l'intensité varient suivant le sens et l'amplitude du mouvement. Ces vibrations pouvant être dues à une cause quelconque, on voit que dans ces conditions un son peut produire des courants dans le circuit.

Supposons maintenant que les deux extrémités du fil aboutissent à une seconde bobine disposée comme la première. Les courants produits par les vibrations du premier appareil viendront influencer l'aimant du deuxième. Son intensité magnétique variera, et sa lame de fer doux vibrera à son tour ; et l'on conçoit que de cette manière le son produit dans le premier appareil puisse être répété par le second.

L'appareil devant lequel on parle se nomme *transmetteur ;* celui qui reproduit la parole s'appelle *récepteur*.

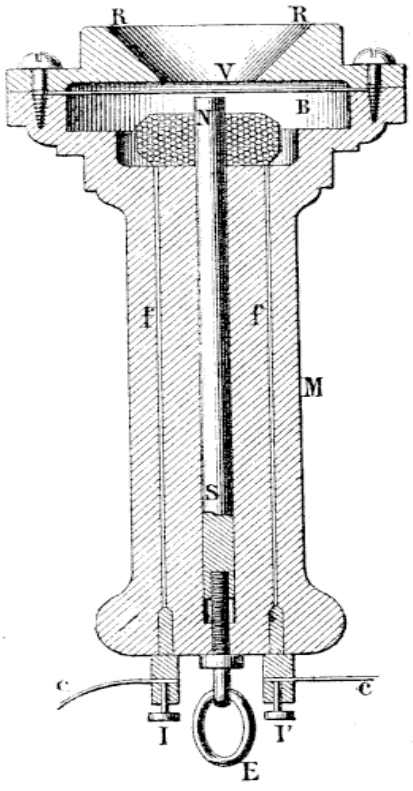


Fig. 168.

§ 712. **Téléphone magnétique de Bell**. — Ce système de téléphone est basé sur le principe que nous venons d'énoncer. Il comporte (fig. 168) un aimant NS en forme de barreau droit. A l'un des bouts est une bobine B dont les extrémités communiquent, à travers les canaux *f*, *f*, aux bornes I, I' qui servent d'attaches au circuit *cc*. Une lame mince de fer V est placée en face du pôle N, aussi près que possible du barreau, sans pourtant que les vibrations puissent jamais

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

produire un contact. Une vis commandée par un anneau E permet le réglage. L'appareil est contenu dans une gaine de bois ou d'ébonite M, formant un manche qu'on peut tenir à la main, et présentant un pavillon évasé destiné à renforcer les sons.

Le transmetteur et le récepteur sont analogues, et peuvent servir indifféremment à transmettre et à recevoir la parole. Ils sont reliés par un double fil, ou bien par un fil unique, si l'une des bornes communique avec la terre.

§ 713. **Téléphone Ader.** — M. Ader a cherché à renforcer les effets magnétiques et, par suite, les vibrations sonores du téléphone en donnant aux lignes de force du champ magnétique une direction sensiblement normale à la plaque vibrante. Dans ce but, il a ajouté à l'appareil une armature fixe formée d'une couronne en fer doux XX (fig. 169), qui est indépendante de la

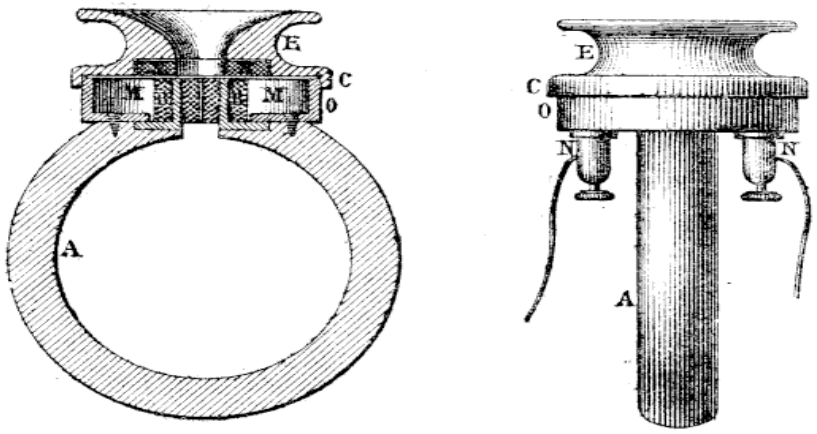


Fig. 169.

plaque vibrante et se trouve placée à une petite distance au-dessus. L'aimant est circulaire ; ses deux pôles viennent se placer à côté l'un de l'autre, et sont entourés respectivement d'une bobine B. La double bobine, la plaque vibrante et l'armature fixe, sont contenues dans une boîte à résonnance O avec vides en M. Cette boîte est surmontée d'un couvercle en ébonite C, à embouchure évasée E. Le circuit s'attache aux bornes N, N ; et l'anneau A formé par l'aimant sert à suspendre l'appareil.

§ 714. **Microphone.** — Le téléphone tel que nous venons

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de le décrire, suffit pour un circuit présentant peu de résistance. Mais les vibrations de la voix toujours assez faibles ne peuvent produire des courants bien intenses, surtout avec les petites dimensions des aimants qu'on doit employer. Il a donc fallu, pour les circuits de grande résistance, chercher dans les piles la source d'électricité suffisante, et trouver en outre le moyen de faire subir d'amples variations à l'intensité du courant. On a créé ainsi des transmetteurs d'un nouveau genre qu'on nomme *microphones*, et qui reposent sur le fait suivant :

Dans un circuit comprenant un interrupteur, l'intensité du courant varie suivant le degré de pression auquel sont soumises les pièces de contact ; et ce phénomène devient très sensible quand ces pièces sont en charbon.

§ 715. **Microphone de Hughes**. — L'appareil de Hughes (fig. 170), basé sur ce principe, est formé d'un crayon en charbon C à double pointe, maintenu verticalement entre deux supports M, N également en charbon, et fixés à une table d'harmonie P. En M, N s'attachent les extrémités d'un circuit comprenant une pile et un téléphone ordinaire. Quelquefois le circuit est simple ; alors l'un des pôles de la pile et l'une des bornes du téléphone sont respectivement reliés à la terre.

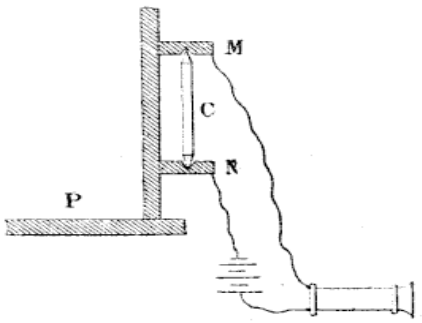


Fig. 170.

Les vibrations sonores imprimées à la table d'harmonie produisent dans les contacts de charbon des variations de résistance, qui influencent le téléphone récepteur comme nous l'avons dit au paragraphe précédent, et donnent naissance à des sons. Cet appareil, doué d'une très grande sensibilité, accuse la marche d'un insecte, le bruit d'une montre sur le plateau P.

Pour augmenter encore les vibrations, Edison a imaginé de faire circuler dans le récepteur un courant induit. L'électricité fournie par la pile passe dans le gros fil ou fil inducteur d'une *bobine d'induction* B (1) (fig. 171) ; et c'est le fil fin induit qui

(1) Les bobines d'induction comportent en principe : 1° un faisceau de tringles de fer doux recouvert d'une bobine en fil de cuivre relativement gros, le tout renfermé dans un

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est rattaché au récepteur. Le courant de la pile conserve dès lors toute son intensité ; et le courant induit peut, grâce à sa force électromotrice relativement élevée, vaincre la résistance d'un long circuit. Souvent le circuit induit, au lieu de se fermer sur lui-même comme sur notre figure, est simple et a ses deux bouts à la terre, ainsi qu'il est indiqué au § 717.

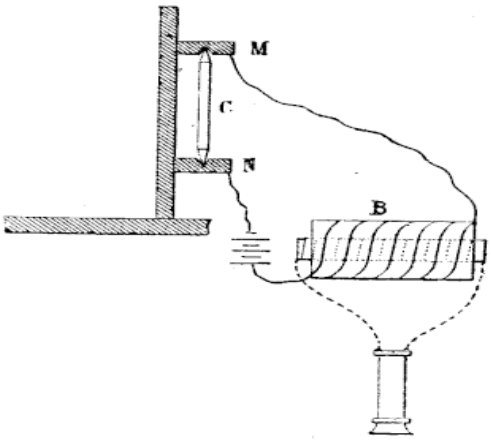


Fig. 171.

Les transmetteurs microphoniques basés sur ce principe affectent des dispositions très nombreuses. Nous nous bornerons à décrire celui d'Ader, qui est adopté par la Compagnie générale des téléphones, et qui réunit toutes les qualités qu'on peut exiger dans la pratique.

§ 716. **Transmetteur Ader.** — Cet appareil (fig. 172) est formé de trois traverses en charbon a, b, c disposées parallèlement. Dix cylindres E également en charbon, et terminés à leurs bouts par des tourillons sont supportés librement par les traverses munies de trous à cet effet. Les traverses extrêmes a, c communiquent avec les bouts d'un circuit renfermant une pile et une bobine inductrice. Les traverses sont placées sous une lame vibrante en bois, qui constitue le couvercle d'une boîte en forme de pupitre, devant laquelle on porte la parole.

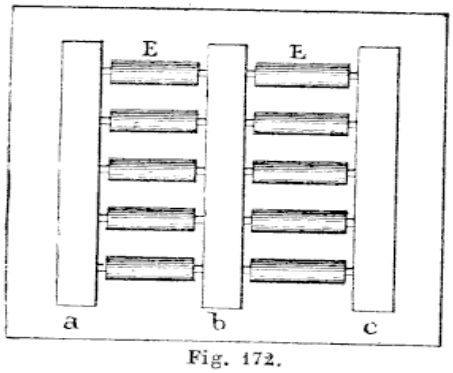


Fig. 172.

Tel est le microphone Ader proprement dit.

cylindre isolant en verre ou en caoutchouc ; 2° une bobine en fil fin enroulé sur le cylindre isolant, où il est noyé dans un mastic également isolant. Le courant d'une pile traverse le gros fil, qui devient *inducteur* vis-à-vis du fil fin.

C'est ce genre d'appareil qui est la pièce fondamentale de la célèbre *bobine d'induction de Ruhmkorff*, qui donne des courants d'une intensité considérable dans le fil induit par des fermetures et des ouvertures alternatives du circuit inducteur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 717. **Poste téléphonique Ader.** — Le poste complet comporte un transmetteur avec sa pile et sa bobine inductrice, un commutateur, deux récepteurs (un pour chaque oreille), une pile auxiliaire pour actionner la sonnerie d'un second poste, et enfin la sonnerie du poste lui-même.

Voici alors le programme que l'on a à remplir :

Deux postes étant réunis par une ligne, il faut que la sonnerie de chaque poste soit libre de fonctionner à un appel; et la personne appelée doit, en mettant ses récepteurs à son oreille, rompre la communication de la ligne avec sa sonnerie et l'établir avec ses récepteurs. Quand la conversation est terminée, les récepteurs sortent à leur tour du circuit, et la sonnerie y rentre.

Dans ce but, l'un des deux crochets auxquels on suspend les récepteurs constitue un levier mobile, et sert de commutateur. Quand le récepteur est accroché, il abaisse par son poids le levier, qui ferme alors le circuit de la sonnerie et ouvre celui du récepteur. Lorsqu'on décroche le récepteur, le levier bascule sous l'action d'un ressort de rappel; il ferme ainsi le circuit du récepteur et ouvre celui de la sonnerie.

Les figures théoriques 173 et 174, qui se rapportent à un seul et même poste, montrent la marche du courant dans les deux cas.

Dans la figure 173, le récepteur est censé accroché; et le levier ferme, comme on le voit, le circuit sonnerie. Un courant vient par la ligne du poste n° 2 de la pile auxiliaire située à ce poste, et suit le trait plein dans la direction des flèches; la sonnerie du n° 1 peut donc être actionnée par un appel fait au n° 2.

Réciproquement en appuyant sur le bouton K, on envoie dans la ligne le courant de la pile auxiliaire du n° 1; et la sonnerie du n° 2 est mise en mouvement. En même temps la sonnerie du n° 1 est mise hors circuit.

Dans la figure 174, le récepteur est décroché. Le levier s'est relevé; et, dans ce cas, il ferme le circuit comprenant le microphone et sa pile. Le circuit est interrompu en un point, comme l'indique la figure; pour le fermer, il existe à l'extrémité arrière du corps du levier une petite plaque de cuivre *isolée de ce corps*, et qui, dans la position de bascule, vient frotter sur deux contacts rattachés au circuit. Cette pièce n'a pas été indiquée sur la figure pour ne pas la surcharger; on en a simplement marqué la place.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le courant inducteur partant de la pile du microphone du poste n° 1 traverse le circuit indiqué en traits pleins; il passe par le microphone et le fil inducteur de la bobine, et revient à sa pile. De son côté, le courant induit part de *terre*, et suit le chemin marqué en doubles traits pointillés; il parcourt ainsi le fil

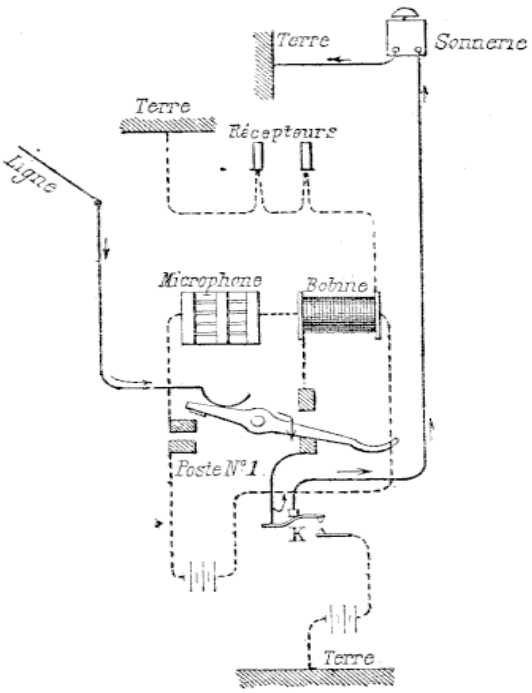


Fig. 173.

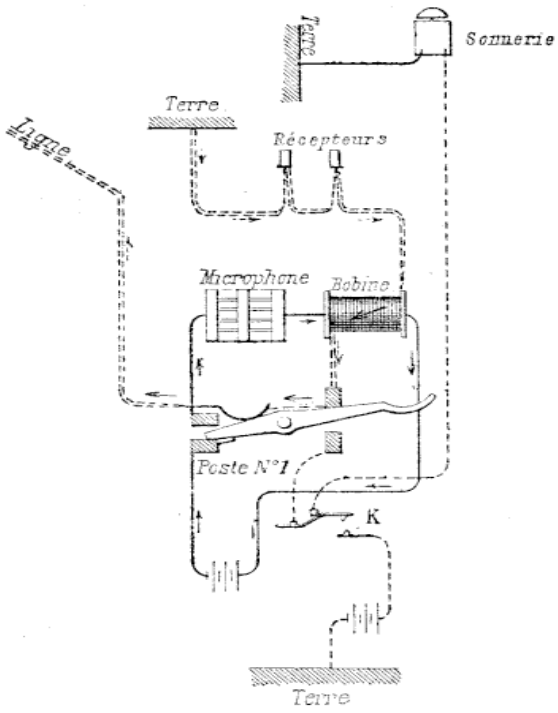


Fig. 174.

induit de la bobine, et se dirige vers la ligne où il va actionner les récepteurs, en les traversant pour aller aboutir au *sol*. Comme à ce moment le poste n° 2 se trouve dans la disposition de la figure 173, les récepteurs sont placés dans le circuit, de même, du reste, que ceux du n° 1. La voix est transmise, et un échange de paroles peut se faire d'un poste à l'autre. Quant à la sonnerie, elle est dans chaque poste mise hors circuit et incapable de fonctionner.

La figure 175 montre en perspective l'installation de l'appareil Ader. La boîte microphonique est portée par une planchette fixée au mur. Le bouton K sert à provoquer l'appel. Les récepteurs placés de chaque côté sont pendus à des cordons contenant deux

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

fils conducteurs reliés aux bornes *ab*, *cd*. Le crochet de droite seul est mobile : c'est lui qui sert de commutateur, comme nous l'avons expliqué.

Fonctionnement. — Voici comment on se sert de l'appareil :

1° Les deux récepteurs étant accrochés, on commence, au poste n° 1, par presser le bouton K pour appeler le poste n° 2; on attend que ce dernier accuse réception en actionnant la sonnerie du n° 1 ;

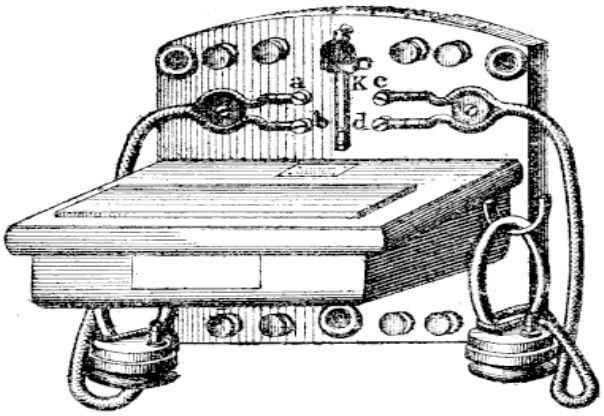


Fig. 175.

2° On décroche les deux récepteurs qu'on applique contre ses oreilles ;

3° On parle devant le transmetteur, en se tenant environ à 5 centimètres du pupitre et en gardant les récepteurs près des oreilles ;

4° Quand la conversation est finie, on replace les récepteurs à leurs crochets.

Remarques. — Les piles Leclanché conviennent très bien au service téléphonique.

Les lignes téléphoniques peuvent être aériennes ou souterraines. Les lignes aériennes se construisent ordinairement en fil d'acier galvanisé de 2^{mm} de diamètre pesant 25^{kg}, et présentant une résistance de 39 ohms par kilomètre. On remplace souvent l'acier par du bronze silicieux de $1^{mm},1$ de diamètre, pesant $8^{kg},45$ par kilomètre. La ligne est ainsi beaucoup plus légère, ce qui permet de diminuer le nombre de poteaux. Dans les cas ordinaires, on emploie un fil unique dont les extrémités sont réunies à la terre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les lignes souterraines sont généralement formées de câbles recouverts de plomb. Quand plusieurs circuits téléphoniques ou télégraphiques sont placés dans le voisinage l'un de l'autre, il peut se produire dans les fils téléphoniques des phénomènes d'induction qui dénaturent le son. Pour y remédier, on doit, au lieu d'enterrer les deux extrémités du fil unique de la ligne, employer un double fil pour la circulation du courant induit entre les deux stations. Les courants induits étant égaux dans chacun d'eux et naturellement de sens contraire, se détruisent. Cette disposition a l'inconvénient de rendre l'installation plus coûteuse.

Quand on a plus de trois postes à faire communiquer entre eux, il y a un avantage évident, pour simplifier le réseau des fils, à avoir un poste central, qui, grâce à un commutateur à chevilles, fournit à un poste quelconque, sur sa demande, la communication directe avec un autre poste excentrique.

Nous n'avons pas donné à la télégraphie et à la téléphonie tout le développement qu'elles comportent; car nous n'avons envisagé ces deux questions que dans leurs rapports avec la marine, qui sont assez restreints.

NOTA. — Pour toutes les questions d'électricité, nous avons puisé de nombreux renseignements dans le *Traité pratique d'électricité industrielle* de MM. E. Cadiat et L. Dubost.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

SEPTIÈME PARTIE

TORPILLES

7E PIE. — CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS

NOTIONS PRÉLIMINAIRES

§ 718. **Aperçu sommaire.** — La torpille est un engin destiné à attaquer un navire dans ses *œuvres vives*. Des obus frappant le bâtiment au-dessus de la flottaison ne peuvent suffire à le désemparer; les ravages produits sont rarement mortels. Il n'en est pas de même si une charge explosive vient produire une brèche au-dessous du niveau d'eau. D'abord le bâtiment se trouve attaqué dans ses parties vitales; et, malgré toutes les précautions qu'on prend pour multiplier ses cloisons étanches, on conçoit que si la puissance de l'explosion est suffisante, le mal peut être sans remède. Ajoutons encore que la force explosive est augmentée par la résistance de la couche d'eau, et que la même charge produit, dans ces conditions, des effets plus désastreux que dans l'air. Cette question a soulevé de nombreuses critiques, et l'efficacité de la torpille a été parfois mise en doute. C'est que le programme qui lui est imposé est loin d'être simple; et, pendant de longues années, on en a vainement cherché la solution. Mais grâce aux perfectionnements qu'il a reçu, cet engin est devenu aujourd'hui une arme supérieure.

Il n'existe encore aucun traité de l'espèce. Nous nous sommes efforcés de condenser en quelques chapitres et d'une manière didactique tout ce qui a trait à la torpille sous toutes ses formes.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 719. **Historique.** — La première application pratique de la torpille a été faite pendant la guerre de l'Indépendance d'Amérique; c'est aux Américains que revient l'honneur d'avoir frayé les premiers une voie dans laquelle toutes les puissances maritimes sont entrées à leur suite.

Quelques années après, Fulton imagina un système très ingénieux de torpilles faisant explosion au choc, et inventa un bateau sous-marin qu'il expérimenta dans sa patrie et en Europe.

La longue paix qui suivit la période si agitée du commencement du siècle n'était pas favorable au développement de cette invention; il faut arriver à la guerre de Crimée pour la voir reparaître et encore à l'état d'imperfection.

Les Russes avaient semé des torpilles dans quelques ports de la Baltique; la charge en était heureusement trop faible; c'est à cette circonstance seule qu'un aviso fut redevable de son salut, lorsque, dans une reconnaissance aux abords de Cronstadt, il fit éclater sous sa coque un de ces engins.

L'Autriche, en 1859, avait eu, de son côté, recours aux torpilles pour protéger les passes de Venise; et un système complet de défense y avait été créé par le savant colonel Ebner.

L'emploi des engins sous-marins, à peine connu encore, devait, quelques années plus tard, prendre un essor rapide pendant la guerre de sécession des États-Unis d'Amérique. Ils furent, pour les États du Sud, une grande ressource; et, grâce à eux, l'absence complète de marine put être compensée dans la défense des ports confédérés, au point qu'il fallut toujours, pour réduire ces derniers, des attaques combinées par terre et par mer. L'illustre Maury était parvenu à créer, sans ressources, tout un matériel de guerre qui intimidait la marine fédérale; ces craintes étaient, du reste, bien justifiées par les nombreux exemples de navires qui avaient été détruits au moyen des appareils de cette nature semés à profusion sur leur route.

De tels résultats s'imposaient à l'opinion publique; et, dès ce moment, toutes les nations maritimes entreprirent l'étude de la question. Les engins imaginés par les États du Sud, sans études, sans ressources, sans préparation aucune, étaient forcément rudimentaires. Une grande pénurie de fils conducteurs les avaient empêchés de se servir des inflammations électriques autant qu'ils l'eussent voulu. Ils avaient eu recours aux détonateurs mécani-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ques et chimiques que l'on critique aujourd'hui avec juste raison. Mais ils n'en avaient que plus de mérite d'avoir tiré un tel parti de procédés aussi imparfaits ; et, en tous cas, ils ont embrassé la question à des points de vue si divers, qu'on a pu les prendre pour guides dans toutes les études qui ont suivi la guerre de sécession.

Après le triomphe des fédéraux, Maury exilé vint en Europe. La France et l'Angleterre s'adressèrent à lui pour s'initier à l'emploi de l'arme nouvelle.

En 1867, une grande commission, présidée par M. le vice-amiral Fourichon, établissait tout un corps de doctrines sur les défenses sous-marines à créer dans nos ports. Les idées de la commission ont sans doute reçu, depuis lors, des modifications profondes ; mais elles sont restées la base de notre système actuel. C'est la commission de 1867 qui a fait entrer chez nous la torpille dans le domaine de la pratique, et qui a doté nos arsenaux de ce puissant moyen de protection.

Toutes les marines de l'Europe ont travaillé à l'envi dans le même sens. Les défenses sous-marines sont en Angleterre l'objet de progrès incessants. L'Italie, l'Autriche, l'Allemagne, les États scandinaves, en font une étude toute spéciale ; et les brillants faits d'armes des officiers russes, pendant la dernière guerre d'Orient, sont venus montrer une fois de plus le vaste horizon ouvert à l'initiative individuelle par l'emploi de la torpille offensive entre les mains d'hommes énergiques et résolus.

Dans le début, le rôle de la torpille a été purement défensif ; mais son champ d'action n'a pas tardé à s'élargir, et elle est devenue offensive. A côté des torpilles dormantes, qui sont destinées à défendre l'entrée d'une passe et à faire explosion seulement quand un navire vient les frapper, on a songé à créer des engins capables d'aller attaquer les navires ennemis partout où ils se trouvent.

C'est alors qu'on a imaginé le *bateau-torpilleur* presque invisible, doué d'une très grande vitesse et capable de tenir la mer. Ce bateau porte sur l'avant une hampe, au bout de laquelle est fixée la charge explosive, qu'il va heurter contre la muraille de l'ennemi ; ou il lance des torpilles automobiles. Malgré des difficultés de toute nature, le problème a reçu une brillante solution. Thornycroft et Yarrow en Angleterre, Normand, Claparède, les

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ateliers de la Seyne en France, construisent couramment des bateaux appropriés à l'usage en vue, et dont la vitesse dépasse aujourd'hui 20 nœuds.

Avec la torpille portée, on va, pour ainsi dire, attaquer l'adversaire corps à corps. La tâche est bien difficile ; et, quelle que soit la perfection apportée dans la solution du problème, il ne faut pas se dissimuler que le sang-froid de l'équipage est le premier élément de succès.

Les dangers et les difficultés de la lutte sont diminués par les torpilles lancées de loin. M. Whitehead a résolu d'une manière fort ingénieuse la question de la *torpille automobile*. Lancée à 4 ou 500 mètres de l'ennemi, elle franchit cet espace avec une vitesse de 20 à 24 nœuds ; elle possède les organes nécessaires pour se mouvoir et s'orienter elle-même, et elle porte à sa partie antérieure une charge destinée à faire explosion quand elle vient choquer un obstacle. La force motrice lui est fournie par l'air comprimé. Tels sont les principaux caractères de la torpille automobile, adoptée par presque toutes les nations maritimes, malgré son prix élevé et la délicatesse de quelques-uns de ses organes. Ces inconvénients sont largement compensés par la puissance offensive qu'elle procure aux navires qui en sont munis.

Plusieurs inventeurs ont cherché encore à agrandir le champ des recherches auxquelles a donné lieu l'étude de la torpille. C'est ainsi qu'en Amérique, M. Lay a imaginé un appareil qui porte son nom, et qui repose sur des bases entièrement différentes du principe adopté par M. Whitehead. Le moteur est actionné par de l'acide carbonique liquide. La direction est obtenue du poste de lancement, par un manipulateur mis en rapport avec un système électro-magnétique placé dans la torpille et commandant la barre du gouvernail. La machine motrice est elle-même stoppée ou mise en marche à volonté par un deuxième système électro-magnétique. Enfin, la charge peut faire explosion soit par le choc, soit électriquement. Un câble contenant trois fils isolés se déroule de l'intérieur de la torpille à mesure que celle-ci s'éloigne. Les piles restent d'ailleurs au poste de lancement. Cet engin paraît avoir obtenu quelque faveur en Amérique. Cependant son prix élevé, son poids considérable, sa faible vitesse, et l'emploi d'acide carbonique liquide sont de grands inconvénients.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On a essayé enfin, à diverses reprises, d'avoir recours au boulet-torpille. Un boulet rempli d'une charge convenable est tiré par une bouche à feu ordinaire ; il perd sa force vive en choquant la muraille d'un navire cuirassé, et tombe verticalement jusqu'à ce que l'immersion pour laquelle il a été réglé étant atteinte, l'explosion se produise dans les mêmes conditions que pour une torpille. Diverses tentatives, dans ce sens, sont restées jusqu'ici infructueuses.

Comment admettre, en effet, qu'un projectile possédant une masse assez forte et une vitesse considérable puisse s'amortir en frappant la muraille d'un navire? En présence des difficultés que présente un pareil problème, on ne peut guère espérer qu'il soit jamais résolu d'une manière pratique.

Il importe d'ajouter que les effets des obus à la mélinite (§ 83) lancés contre la flottaison, se rapprocheront beaucoup de ceux des torpilles quand on arrivera à ne faire éclater ces projectiles qu'après avoir pénétré le blindage.

Comme on le voit, d'après ce rapide aperçu, la question des torpilles a pris une grande extension pendant les dernières années qui viennent de s'écouler. Il en est résulté d'importantes conséquences. Citons en premier lieu les perfectionnements apportés aux substances explosives. La poudre noire ou poudre de guerre, dont l'usage paraissait seul possible dans les débuts, présente pour le chargement des torpilles de nombreux inconvénients. Il faut souvent l'employer en quantités énormes afin de produire un effet suffisant; il en résulte un volume considérable pour les récipients et de grandes difficultés de manœuvre.

La question a été heureusement résolue par l'invention ou le perfectionnement des explosifs ; deux substances entre toutes, le fulmicoton et la dynamite, sont aujourd'hui employées pour le service des défenses sous-marines; mais le fulmicoton est d'un usage à peu près exclusif. Celui-ci, en effet, grâce aux procédés de fabrication imaginés par le chimiste Abel, a, comme nous l'avons vu (§ 67), la propriété de détoner même à l'état humide, et présente l'innocuité la plus complète sous cette dernière forme. On peut donc le considérer comme la véritable poudre de bord pour les torpilles, et il est adopté par toutes les puissances maritimes.

Par ailleurs, le constructeur de navires a dû s'attacher à multiplier les chances de salut à bord. De là, le grand nombre de cloisons étanches que l'on a ménagées dans les nouveaux types,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'énorme puissance des pompes d'épuisement, et surtout le mode de construction *cellulaire* avec cofferdam, dont le cuirassé anglais l'*Inflexible* montre un des plus remarquables spécimens, et qui, de plus en plus perfectionné, s'applique aux derniers types de cuirassés et de croiseurs des diverses nations maritimes.

L'efficacité des torpilles n'est plus discutable aujourd'hui ; et l'on peut ajouter qu'elles présentent, en outre, un immense avantage, celui d'être relativement peu coûteuses eu égard à leurs effets destructeurs.

Il faut se garder toutefois de les considérer comme capables de remplacer toutes les armes précédemment en usage ; ce serait commettre une erreur capitale. Elles ne sauraient, en effet, suffire à elles seules à défendre un navire ou un port. Mais leur emploi judicieusement combiné avec celui d'une bonne artillerie, est de nature à assurer la sécurité des rades et des arsenaux, et à augmenter dans une forte proportion la puissance offensive et défensive des navires de combat.

§ 720. **Classification des torpilles**. — Les torpilles se divisent en deux catégories principales selon qu'elles sont destinées à l'un des usages suivants :

1° Protection des ports ;

2° Armement des bâtiments.

La protection des ports comprend elle-même deux services distincts : *défense fixe* et *défense mobile*.

§ 721. **Défense fixe des ports**. — Pour ce service, on fait usage presque exclusivement de *torpilles dormantes*, c'est-à-dire reposant sur le fond. Elles sont disposées sur une ou deux lignes barrant la passe que l'on veut défendre. Deux postes pour chaque ligne munis d'instruments convenables de visée, permettent de faire sauter, de l'un deux, chacune des torpilles au moment précis où un navire entre dans son champ d'action. Le système d'observation est celui des alignements croisés, qui, grâce à sa simplicité, donne les résultats les plus pratiques. L'inflammation est électrique.

La défense fixe est renforcée en certains points par des torpilles différentes appartenant à deux catégories : *électro-automatiques* et *automatiques-électriques*. Les unes et les autres sont mouillées

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

entre deux eaux, et douées d'une flottabilité convenable pour ne pas être inclinées par les courants de manière à trop s'éloigner de la surface. La seule distinction à établir entre ces deux genres de torpilles réside dans la disposition de leurs fils conducteurs. Les premières ont un câble qui va rejoindre à terre la pile placée dans un poste fixe. Que l'on supprime la communication à la pile et l'engin deviendra inoffensif; un navire ami pourra donc franchir la ligne sans dangers.

La torpille automatique-électrique, au contraire, est munie d'une pile disposée dans le crapaud même qui l'attache au fond. Sans aucune relation avec la côte, elle est toujours offensive. quel que soit le navire qui la touche; il en résulte que les torpilles électro-automatiques peuvent être affectées à la défense de n'importe quelle passe; tandis que les torpilles automatiques-électriques sont forcément réservées aux parages dans lesquels on veut interdire la navigation d'une manière absolue.

Telles sont les torpilles fixes employées aussi bien en France qu'à l'étranger.

§ 722. **Défense mobile des ports.** — La défense mobile complète la défense fixe. Elle est constituée par l'ensemble des *bateaux-torpilleurs*, qui se subdivisent en *porte-torpilles* et en *lance-torpilles*.

Les premiers sont munis d'une hampe métallique au bout de laquelle s'emmanche la torpille chargée de fulmicoton. La hampe en temps ordinaire est élongée sur le pont du bateau.

Dès que l'abordage va avoir lieu, on la pousse à son poste de combat; et la torpille se trouve ainsi portée à une immersion convenable pour assurer l'efficacité de l'explosion, et à une distance du torpilleur suffisante pour que celui-ci ne coure aucun risque. La pile est à bord, et communique au moyen d'un conducteur avec la torpille. Au moment où le choc a lieu, un organe spécial appelé inflammateur ferme le circuit, et la détonation se produit.

La principale qualité que doivent présenter les porte-torpilles réside dans leur vitesse, qui ne saurait être trop grande. Il importe, en outre, qu'ils marchent au ras de l'eau, que leur tenue à la mer soit bonne, leur marche silencieuse, leur évolution prompte, et que le personnel qui les arme soit à l'abri de la mousqueterie.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Comme construction, les *lance-torpilles* sont identiques aux *porte-torpilles*. Leur vitesse est la même et leurs dispositions générales sont semblables. Ils en diffèrent seulement au point de vue militaire, et sont destinés au lancement des torpilles automobiles.

§ 723. **Résumé.** — En résumé, la défense des ports comprend donc aujourd'hui :

1° Les torpilles dormantes, formant des barrages continus, et enflammées électriquement au moment choisi par les observateurs ;

2° Des torpilles électro-automatiques semées dans les passes pour renforcer l'effet des torpilles dormantes ;

3° Des torpilles automatiques-électriques condamnant définitivement certains parages en temps de guerre, et empêchant la navigation d'une manière absolue ;

4° Des bateaux porte-torpilles et des bateaux lance-torpilles, destinés à élargir le cercle de la défense, à la reporter aussi au large que possible, et à rendre désormais impossibles les blocus prolongés dont les guerres maritimes ont offert dans le passé de si nombreux exemples ;

5° Des batteries fixes de torpilles Whitehead, disposées en des points spéciaux pour renforcer la défense de certaines passes étroites, faisant ainsi l'office d'une véritable artillerie sous-marine.

§ 724. **Armement en torpilles des bâtiments de guerre.** — Divers modèles de torpilles sont employés dans l'armement des navires de guerre, soit pour en augmenter la puissance offensive, soit pour aider à les garantir des attaques de l'éperon qui paraissent devoir constituer une des phases principales des combats à venir. Ces modèles sont de trois sortes : 1° *torpilles divergentes ;* 2° *torpilles portées;* 3° *torpilles automobiles.*

La torpille divergente est formée d'un récipient supporté par un flotteur, disposé de telle sorte que l'ensemble puisse être remorqué par un bâtiment, quels que soient la vitesse et l'état de la mer. La remorque est frappée en patte d'oie, ce qui a pour conséquence de faire diverger la torpille au large du remorqueur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

De tels engins sont donc une protection pour les flancs du navire qui les traîne ; car si un assaillant tente une attaque par le choc, il est fort exposé à les rencontrer sur son passage. Le mode d'inflammation est ici forcément électro-automatique, c'est-à-dire qu'il est à la merci du navire remorqueur.

Il semble, à première vue, que le procédé le plus rationnel eût dû consister dans des mécanismes percutants simples de construction. Mais un appareil ainsi disposé aurait été fort dangereux pour le bâtiment remorqueur lui-même exposé à rencontrer ses propres torpilles. Le danger eût été encore plus grand en escadre dans les évolutions en ordre serré, où chaque navire aurait eu de grandes chances d'aborder les torpilles voisines. On a donc choisi de préférence une mise en feu électro-automatique.

Les torpilles portées en service à bord des bâtiments sont basées sur le même principe que celles dont sont munies les bateaux porte-torpilles ; elles n'en diffèrent que par leur charge moins considérable ; elles sont réservées à l'armement des canots et plus spécialement des embarcations à vapeur dont on a rendu les machines silencieuses.

Depuis que la construction des torpilleurs a pris une grande extension, on a étudié le moyen d'en doter les bâtiments eux-mêmes. Les chaloupes ordinaires ont, en effet, une faible vitesse, avec des moyens d'attaque imparfaits. Pour y remédier, la maison Thornycroft a créé un modèle spécial de torpilleurs, assez légers pour se hisser et s'amener sans trop de peine, doués d'une grande marche, et pontés de bout en bout.

Pour terminer cette énumération, il nous reste à parler des torpilles automobiles des navires. Ces engins se tirent au moyen de tubes de lancement, véritables canons qui les projettent au dehors. Ce lancement était obtenu primitivement chez nous par l'air comprimé, comme il l'est encore en Angleterre. Il se fait aujourd'hui au moyen de la poudre Wetteren, ce qui simplifie beaucoup les appareils de lancement.

Nous entrerons plus tard dans la description détaillée des divers appareils dont on vient de parler.

§ 725. **Principe des explosions sous-marines.** — L'explosion d'une charge de poudre placée en terre projette les débris du sol qui la recouvre dans toutes les directions, et

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

laisse à sa place un trou en forme d'entonnoir dont l'angle au sommet varie avec la profondeur de la mine et la nature du sol.

Lorsqu'une torpille détone, la détente des gaz détermine le soulèvement d'un volume considérable d'eau, qui ayant la forme conique au début se crève bientôt, et constitue ce qu'on appelle *la gerbe*.

Dans le principe, lorsqu'il s'agit de déterminer les charges à donner aux torpilles, on assimila les effets d'une torpille à ceux d'une mine. Dans cette hypothèse, la base des gerbes des torpilles correspondait à l'ouverture de l'entonnoir d'une mine et mesurait l'effet destructeur limité à la surface. Des expériences furent faites pour déterminer la hauteur et la largeur des gerbes, en faisant varier les immersions et la grandeur des charges. Le résultat de ces essais fut celui-ci : pour une charge de poudre de 200^{kg}, le rayon d'action atteignait un maximum de $7^{m},40$ à l'immersion de 6^{m}.

On admit que tous les entonnoirs formés étaient semblables à celui de la charge de 200^{kg}, et que les volumes des entonnoirs étaient proportionnels aux poids des charges.

Les formules suivantes permettaient de calculer les charges :

$$R = 1{,}233\ H, \qquad C = 0{,}927\ H^{3},$$

R exprime le rayon d'action latérale maximum ;
H l'immersion correspondante à R ;
C la charge de la torpille en kilogrammes de poudre.

Ces formules conduisaient à des charges très considérables au delà de 15^{m} d'immersion, et s'appliquaient difficilement au calcul de la charge suffisante pour donner un rayon d'action voulu à une immersion donnée, puisqu'elles considéraient le seul cas de la charge nécessaire pour obtenir le rayon maximum. Elles ne furent pas reconnues exactes par l'expérience et furent rejetées.

En Angleterre, l'action destructive d'une torpille se calculait par la formule $r = 2\sqrt[3]{c}$; et en Allemagne, par $r = 2{,}54\sqrt[3]{c}$; r étant la distance comptée en pieds anglais à partir du centre de la torpille ; et c la charge de poudre noire en livres anglaises.

Ces formules admettent forcément la relation

$$\frac{r}{\sqrt[3]{c}} = \frac{r'}{\sqrt[3]{c'}}.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Or cette égalité n'est pas exacte; car l'expérience et le raisonnement viennent démontrer que le rapport $\frac{r}{\sqrt[3]{c}}$ n'est pas constant, et n'est pas, par conséquent, indépendant de l'immersion; ce rapport croît, au contraire, à mesure que l'angle formé par le rayon vecteur et la verticale devient plus faible. En effet, supposons :

1° Que les effets de destruction produits par l'explosion des torpilles, ne dépendent que de la distance du centre d'explosion et des pressions des gaz aux points que ces pressions atteignent;

2° Que, dans leur expansion sous l'eau, les gaz se dilatent de la même façon en tous les sens.

Soient encore C la charge de la torpille, P_0 la pression, et V_0 le volume sphérique des gaz au moment où, l'explosion étant complète, la première quantité est un maximum, la seconde un minimum. Appelons r_0 le rayon de la sphère V_0, P la pression, et V le volume des gaz après un certain temps de détente, r le rayon de la sphère correspondante. On a :

$$PV = P_0V_0; \quad \text{d'où} \quad Pr^3 = P_0r_0^3 = mC;$$

m étant une constante.

Soient P_1 la pression nécessaire pour donner des effets destructeurs sur une carène, r_1 le rayon correspondant, qui n'est autre chose que la portée, on a :

$$P_1r_1^3 = mC; \quad \text{d'où} \quad r_1^3 = \frac{mC}{P_1}, \quad \text{et} \quad \frac{r_1}{\sqrt[3]{C}} = \frac{\sqrt[3]{m}}{P_1}.$$

La valeur $\sqrt[3]{\frac{m}{P_1}}$ est une constante, puisque ni m ni P_1 ne varient. Mais si nous étudions maintenant les hypothèses dont nous sommes partis, nous voyons que la seconde au moins est inexacte.

En effet, la détente des gaz ne peut s'opérer également dans tous les sens; il est évident qu'ils se dilatent surtout dans la direction de la ligne de moindre résistance, qui est la verticale; par conséquent, les surfaces successives d'égale pression, sphériques à l'origine, vont se déformer à mesure qu'elles s'éloigneront du centre d'explosion, et affecter une forme ovoïde dont le

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

grand axe sera vertical et de plus en plus allongé. Il en résulte que la portée dangereuse d'une torpille atteint son maximum suivant la verticale, et diminue très rapidement si elle est mesurée sur des rayons vecteurs s'éloignant de plus en plus de la verticale.

La formule $r = K\sqrt[3]{c}$ est donc fausse et ne donne pas réellement la portée. C'est, du reste, ce qui a été prouvé par les expériences d'explosions poursuivies, en France, pendant les années 1873-1874 sur le *Wagram*, l'*Express*, le *Cormoran* et l'*Eldorado*.

C'est à la suite de l'explosion de l'*Eldorado*, qui terminait la série d'expériences de la commission supérieure des défenses sous-marines, qu'elle arrêta d'une manière définitive le tableau des charges correspondantes aux immersions; elle ne s'appuya, dans ce travail, que sur des données expérimentales recueillies tant en France qu'à l'étranger, et elle rectifia toutes les relations précédemment établies ainsi qu'il suit :

	à 8m d'immersion	500kg	poudre noire		
de 8 à 11	id.	1.000	id.	ou 250kg	fulmicoton
de 11 à 15	id.	1.500	id.	ou 300	id.
de 15 à 18	id.	2.000	id.	ou 400	id.
de 18 à 20	id.		»	500	id.
de 20 à 22	id.		»	600	id.
de 22 à 24	id.		»	700	id.

Toutes ces charges donnent aux immersions correspondantes un rayon d'action à la surface $R = 7^m,50$.

Nous verrons plus loin que c'est par l'expérience également qu'on a déterminé la charge des torpilles agissant par contact.

§ 726. **Substances explosives employées pour le chargement des torpilles.** — Toutes les substances explosives ne remplissent pas les conditions voulues pour être employées au chargement des torpilles.

Une poudre doit non seulement pouvoir donner une grande quantité de gaz à une température très élevée, il faut aussi qu'elle ne soit pas dangereuse pour ceux qui la manient en service.

Il est nécessaire qu'elle ait beaucoup de *stabilité*, c'est-à-dire que les éléments dont elle se compose ne doivent ni s'altérer lentement après un long séjour dans les magasins, ni se dissocier

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rapidement dans les circonstances ordinaires par suite de hautes températures se prolongeant pendant un certain temps. Une poudre doit encore se prêter facilement aux transports et ne pas atteindre un prix de revient trop élevé. Enfin, il faut qu'on puisse provoquer son explosion en la plaçant dans certaines conditions spéciales, en dehors desquelles elle doit rester inerte.

Dans le service des défenses sous-marines on emploie :

1° Le fulminate de mercure ;
2° La poudre noire ;
3° Le fulmicoton ;
4° La dynamite.

Dans la partie consacrée aux explosifs nous avons décrit ces différentes substances, leurs propriétés et leurs modes de fabrication ; nous ne rappellerons ici que ce qui a trait spécialement aux défenses sous-marines.

Le fulminate de mercure est employé à charger les amorces destinées à provoquer l'explosion des différentes poudres.

La poudre noire, fournie au service des défenses sous-marines, a une couleur *ardoisée ;* elle est non lissée, à grains durs et anguleux, et présente la composition suivante :

Azotate de potasse	75
Soufre	12,5
Charbon	12,5
	100,0

Sa formule est $KO, AzO^5 + C^3 + S$.

Elle ne doit pas contenir de poussier, être bien sèche et peu hygrométrique ; la grosseur des grains est à peu près uniforme.

Le fulmicoton joue un rôle important dans le chargement des torpilles. Rappelons en quelques mots les résultats des expériences faites par M. Abel sur cette substance :

1° Le fulmicoton comprimé et contenant jusqu'à 17 p. 100 d'eau peut exploser par l'action d'une très petite quantité ($6^{gr},6$) de fulmicoton sec, mis en contact direct avec lui et amorcé au fulminate de mercure ;

2° La détonation du fulmicoton comprimé contenant 20 p. 100 d'eau peut être obtenue par la détonation de 31^{gr} de fulmicoton sec. S'il contient 30 à 35 p. 100 d'eau, il faut 112^{gr} de fulmicoton sec.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

D'après cela, on peut dire que, dans toute torpille chargée de fulmicoton humide, il y aura à distinguer :

1° L'*amorce*, constituée par une quantité convenable de fulminate de mercure pur;

2° La *charge-amorce*, se composant d'un certain poids de fulmicoton *sec*, détonant sous l'action de l'amorce, et déterminant ainsi la détonation du fulmicoton humide qui constitue la charge proprement dite de la torpille.

Les chiffres de M. Abel étaient les résultats d'expériences de laboratoire; ils devaient être modifiés nécessairement par la pratique. Cette question a été l'objet d'essais nombreux tant en France qu'en Angleterre, qui ont duré depuis l'année 1872 jusqu'en 1876. A cette époque, une prescription ministérielle régla l'amorçage du fulmicoton humide de la manière suivante :

Dans toutes les torpilles ne dépassant pas 100^{kg}, la charge-amorce sera de 625^{gr} environ de fulmicoton *sec*.

Pour toutes les torpilles au-dessus de 100^{kg}, elle s'élèvera à 1.250^{gr}.

Le fulmicoton *humide* pouvant, avec ces charges-amorces, être employé *à saturation*, il n'y avait donc plus à s'occuper du quantum d'humidité.

AMORCES ET CHAPELETS ÉLECTRIQUES

§ 727. **Amorce Stateham.** — Les premiers essais d'inflammation de mines par un courant électrique se firent en déterminant l'élévation de température d'un fil de platine au moyen d'une forte pile; mais quand Ruhmkorff eut construit sa bobine d'induction (§ 715), on chercha à utiliser cet appareil pour enflammer une charge de poudre à une très grande distance. C'est alors que Stateham imagina une amorce très ingénieuse qui porte son nom.

L'inventeur faisait aboutir les extrémités des deux conducteurs dans une enveloppe de gutta-percha recouverte intérieurement de sulfure de cuivre; cette enveloppe était échancrée en son milieu; dans cette échancrure se trouvait placée une certaine quantité de fulminate de mercure. L'intervalle entre les extrémités des deux conducteurs était convenablement réglé. En faisant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

passer l'étincelle de la bobine de Ruhmkorff dans les fils, on déterminait l'inflammation du sulfure de cuivre et, par suite, celle du fulminate de mercure. Ces essais eurent lieu en 1858, mais déjà les amorces d'induction remplaçaient celles de Stateham.

§ 728. **Amorces d'induction.** — Ces appareils reposaient sur le principe suivant : le courant électrique traversait directement une poudre inflammable interposée entre les deux extrémités très voisines d'un conducteur. Ce système exigeait une faible quantité d'électricité, mais une tension considérable du courant.

C'est alors que furent successivement inventés la machine de Beardslée, le coup de poing de Bréguet, l'appareil Marcus. On cherchait à obtenir de l'électricité à très haute tension avec des appareils d'un petit volume, et l'emploi des courants induits donnait le moyen de résoudre ce problème.

Ces amorces n'ont pas été adoptées pour le service des défenses sous-marines, parce qu'il est impossible de leur procurer à toutes la même résistance et la même sensibilité.

§ 729. **Amorces chimiques.** — Dans ce système on utilise l'action calorifique qui accompagne une vive réaction chimique.

Si l'on projette quelques gouttes d'acide sulfurique sur un mélange par parties égales de sucre et de chlorate de potasse, la matière s'enflamme et brûle avec une grande énergie.

Un mélange de chlorate de potasse et de benjoin, de chlorate de potasse et de coton-poudre, donne avec l'acide sulfurique les mêmes effets.

Si l'on fait arriver du chlore sec sur du coton imprégné d'antimoine pulvérisé, le coton s'enflamme et brûle avec vivacité.

Si du potassium, du sodium, du calcium immergés dans le pétrole, sont mis en contact avec une petite quantité d'eau, ils s'enflamment et déterminent la combustion du pétrole.

Une amorce chimique se composera donc, par exemple, d'un mélange de chlorate de potasse et de sucre, au milieu duquel on placera un tube contenant de l'acide sulfurique. Dès qu'un choc déterminera la rupture du tube de verre, l'acide sulfurique viendra en contact avec le mélange et l'enflammera.

Ces fusées ont le défaut d'être très dangereuses, quels que

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

soient les mécanismes de sûreté que l'on peut imaginer pour empêcher leur inflammation accidentelle.

§ 730. **Amorces mécaniques, fusée Raims.** — Cette fusée a été très employée pendant la guerre américaine de sécession, et a donné des résultats assez remarquables.

Une demi-sphère en cuivre recouvre la composition suivante : chlorate de potasse 50 parties en volume ; sulfure d'antimoine 30 ; verre pilé 20. Ce mélange garnit le tube de la fusée. Le moindre choc déforme la demi-sphère. Celle-ci transmet le frottement à la composition fulminante qui fait alors explosion. Le service des défenses sous-marines n'a pas adopté ce système.

§ 731. **Amorces galvaniques ou de quantité.** — Ce système repose sur l'emploi d'un fil de platine très fin dans lequel on fait circuler un courant. L'élévation de température produite par sa résistance se communique à une matière inflammable qui remplit l'amorce.

En se basant sur ces principes, la commission supérieure des défenses sous-marines a établi les conditions suivantes auxquelles doivent satisfaire les amorces :

1° L'amorce doit être assez conductrice pour pouvoir être traversée par un courant d'épreuve reconnaissable au moyen d'un galvanomètre peu sensible, et sans qu'on ait à redouter sa décomposition, son altération ou son inflammation ;

2° Le courant doit passer par le cœur même de l'amorce, de façon à donner des indications sur l'état de la charge, du circuit et de l'amorce elle-même.

3° Les appareils les plus simples à construire, à transporter, à réparer, sont seuls susceptibles d'être employés pour l'inflammation.

§ 732. **Amorces actuelles.** — Les conditions précédentes sont parfaitement remplies par les amorces présentement adoptées dans les diverses Marines pour toutes les torpilles électriques.

On se sert d'un fil de platine contenant 15 p. 100 d'iridium, ayant un diamètre de 1/30 de millimètre. La résistance électrique par mètre d'un pareil fil est comprise entre 350 et 400 ohms.

L'amorce actuellement réglementaire est celle du modèle 1878. Il en existe trois numéros :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le n° 1 destiné à l'amorçage de toutes les torpilles de combat, quelle que soit la nature de la substance explosive employée.

Le n° 2 qui s'emploie pour l'amorçage des torpilles d'exercice chargées de poudre brisante. Ce numéro peut servir au besoin pour l'amorçage des torpilles de combat.

Le n° 3 destiné spécialement aux torpilles d'exercice chargées de poudre noire. Ce numéro ne peut remplacer aucun des deux autres.

Les amorces n° 1 sont peintes en rouge, n° 2 en rouge avec liséré bleu, n° 3 en bleu.

Ces trois types d'amorces (fig. 176) se composent de deux bouts de fil ayant 1^{mm} de diamètre, recouverts de gutta-percha et tordus l'un sur l'autre. Leurs extrémités sont placées dans une gaine de gutta-percha. Les bouts sont fendus avec une scie très fine, et dans la fente on engage un fil de platine qu'on enroule en hélice de manière à former 10 spires très rapprochées. Cette hélice et les bouts de fil qu'elle réunit sont introduits dans un tube en laiton embouti, chargé soit de $1^{gr},5$ de fulminate de mercure (amorces n° 1 et n° 2), soit de $0^{gr},9$ de poudre fine (amorce n° 3). Ils sont séparés de la charge du tube par un tampon mince de fulmicoton. Les deux bouts de fil que réunit la spirale de platine prennent le nom de *branches de l'amorce ;* ils ont 60^{cm} de longueur.

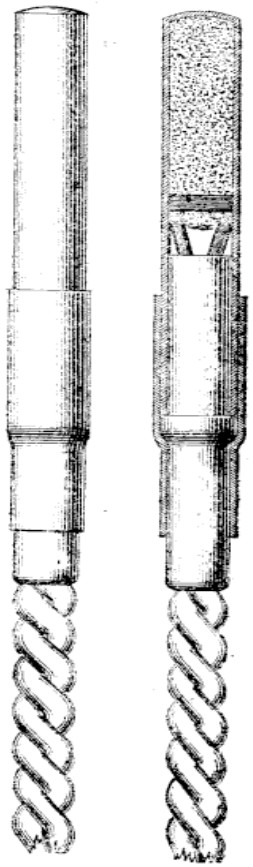


Fig. 176.

Les amorces n° 1, n° 2, n° 3, n'ont pas la même résistance électrique. Celle des amorces n° 1 est de 9 à 10 ohms. Celle du n° 2 est comprise entre 10 et 11 ohms. Enfin pour le n° 3, elle est de 8 à 9 ohms.

Des résistances aussi considérables rendent ces amorces très sensibles : ainsi le courant fourni pour un ou deux couples Leclanché télégraphiques suffit pour faire rougir le fil de platine et déterminer l'explosion.

L'armorçage d'une torpille, comme nous le verrons plus loin, est constitué en général par deux amorces placées en dérivation sur le circuit de la pile.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans certains cas particuliers, il n'est formé que par une amorce.

Le plus généralement les amorçages de différentes torpilles sont indépendants les uns des autres. Il arrive quelquefois cependant que l'on a besoin de faire exploser plusieurs torpilles simultanément au moyen d'une même pile. Les amorçages doivent alors être réunis les uns aux autres. L'ensemble constitue ce qu'on nomme un *chapelet électrique*.

§ 733. **Constantes des amorces.** — Il est important pour l'étude des torpilles de connaître les *constantes des amorces*, c'est-à-dire l'intensité du courant nécessaire pour amener l'explosion, et la résistance des amorces au moment de l'explosion.

Ces données étant connues, on en déduira la différence de potentiel entre les deux extrémités de cette amorce par la loi de Ohm.

L'étude des amorces ressemble donc beaucoup *à priori* à celle des lampes à incandescence que nous avons passée en revue ; mais il existe entre elles une différence capitale.

Les constantes d'une lampe à incandescence sont, outre la résistance de la lampe, l'intensité du courant et la différence de potentiel entre les bornes qu'il faut *entretenir* pour que la lampe se *maintienne* à un éclat déterminé, dit *éclat normal*.

Dans une lampe il importe peu que l'éclat soit obtenu en un temps plus ou moins long. Mais cette question de temps est essentielle pour les amorces ; il s'agit en effet non pas de maintenir le fil de platine à une température déterminée, mais de l'y porter le plus vite possible.

L'explosion d'une amorce n'est pas absolument instantanée, et il s'écoule toujours un certain temps entre la fermeture du circuit et l'explosion. C'est qu'il y a une certaine déperdition de chaleur par le fil due à sa conductibilité et à son rayonnement. Pour réduire le temps perdu, il faut augmenter l'intensité ; et l'on conçoit que pour produire une explosion instantanée, il existe une valeur minimum d'intensité qu'il faut atteindre.

De son côté, la température nécessaire du filament de platine peut être obtenue aussi au bout d'un certain temps plus ou moins long, dépendant du rapport qui existe entre la chaleur qu'il reçoit et celle qu'il perd ; il y a donc un autre élément à considérer, c'est l'intensité du courant nécessaire pour amener l'explosion en un temps déterminé.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 734. **Mesure de l'intensité minimum nécessaire pour produire l'explosion.** — Pour mesurer l'intensité minimum nécessaire à l'explosion d'une amorce, on forme un circuit comprenant l'amorce, un galvanomètre, un interrupteur, une pile et une résistance variable dont on peut modifier la valeur sans ouvrir le circuit. Dans ce but, on emploie un *rhéostat*, c'est-à-dire un fil métallique communiquant par un bout avec une borne du circuit et muni d'un curseur relié à l'autre borne.

L'interrupteur étant fermé, et la résistance étant assez forte pour que l'amorce n'explose pas, on attend que l'aiguille du galvanomètre ait pris sa position d'équilibre ; puis on diminue graduellement la résistance du rhéostat, en suivant de l'œil l'aiguille jusqu'à ce que l'amorce fasse explosion. On note alors l'intensité i du courant.

Pour avoir la différence de potentiel au moment de l'explosion, on met en dérivation entre les branches de l'amorce un galvanomètre à grande résistance, on note la déviation de l'aiguille au moment de l'explosion, et l'on obtient la différence de potentiel d.

La résistance r de l'amorce *à chaud* sera :

$$r = \frac{d}{i}.$$

Pour faire ces expériences on se sert de l'ampère-mètre et du volt-mètre de Thomson.

Le tableau suivant contient les résultats obtenus sur différents types d'amorces ; on y trouve également la résistance de ces amorces mesurée *à froid* avant l'expérience. On peut ainsi juger de l'augmentation de résistance produite par l'échauffement du fil.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ **735. Tableau d'expériences faites pour rechercher l'intensité du courant minimum nécessaire à l'explosion des amorces actuelles, la différence de potentiel et la résistance à chaud.**

	RÉSISTANCE à froid en ohms			INTENSITÉ en ampères au moment de l'explosion			DIFFÉRENCE de potentiel en volts au moment de l'explosion			RÉSISTANCE à chaud en ohms au moment de l'explosion		
	plus grande	plus petite	moyenne	plus grande	plus petite	moyenne	plus grande	plus petite	moyenne	plus grande	plus petite	moyenne
Amorces n° 1.												
1re série de 10	10,37	9,96	10,150	0,128	0,0970	0,1150	1,49	1,06	1,252	11,8	10,4	11,05
2e id. 10.	10,18	9,53	9,920	0,121	0,1070	0,1140	1,25	1,06	1,135	10,4	9,9	10,15
Moyenne générale	»	»	10,035	»	»	0,1145	»	»	1,193	»	»	10,60
Amorces n° 2.												
1re série de 10.	11,66	10,55	11,030	0,1146	0,0996	0,1065	1,46	1,155	1,314	12,8	11,3	12,05
2e id. 9.	11,45	9,70	10,880	0,1200	0,0924	0,1025	1,63	1,09	1,278	13,5	11,7	12,60
Moyenne générale.	»	»	10,955	»	»	0,1045	»	»	1,296	»	»	12,32
Amorces n° 3.												
1re série de 9.	8,97	8,11	8,520	0,1284	0,0948	0,1094	1,26	0,922	1,071	10,5	9,2	9,80
2e id. 9.	9,85	7,70	8,730	0,1452	0,1092	0,1265	1,49	0,986	1,223	11,0	7,9	9,45
Moyenne générale.	»	»	8,625	»	»	0,1179	»	»	1,147	»	»	9,62

Remarque. — L'intensité minimum d'explosion est celle qui maintiendrait l'amorce à la température d'explosion. Elle ne dépasse pas $0^{amp},128$ pour les types n° 1 et n° 2. Si donc on dispose d'une intensité de $0^{amp},13$, on peut être assuré de faire exploser une de ces amorces, pourvu que le temps ne soit pas limité.

La plus petite des intensités minimum observées étant $0^{amp},0924$, il faudra ne faire passer dans une amorce qu'un courant inférieur à $0^{amp},0924$ si l'on veut être sûr que cette amorce n'explosera pas.

Avec les intensités portées dans le tableau, l'explosion a mis parfois une ou deux secondes à se produire.

§ 736. **Mesure de l'intensité nécessaire pour amener l'explosion en un temps déterminé**. — Si l'on veut mesurer l'intensité du courant nécessaire pour amener l'ex-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plosion d'une amorce dans un temps donné, on forme un circuit comprenant cette amorce, une pile, une boite de résistances et un interrupteur ; on diminue peu à peu la résistance de la boîte, en produisant chaque fois une fermeture d'une durée déterminée, jusqu'à ce que, pour une certaine résistance, l'explosion ait lieu. L'intensité se calcule au moyen de la force électromotrice de la pile et de la résistance totale du circuit, l'amorce comprise.

Si deux amorces parfaitement identiques sont mises en dérivation pour former l'amorçage d'une torpille, il faudra naturellement pour produire l'explosion un courant double de celui qui suffit à une seule amorce.

Ordinairement on met deux amorces, pour assurer l'explosion si l'une vient à rater. Il importe donc peu qu'elles soient identiques, il faut seulement veiller à ce que l'une d'elles n'ait pas une trop faible résistance. Car si elle n'explose pas, elle peut empêcher l'autre de produire son effet. Les amorces sont toujours essayées d'avance, et leur résistance est maintenue dans les limites déterminées.

§ 737. **Chapelets électriques**. — On nomme *chapelet électrique* un ensemble d'amorçages de diverses torpilles reliés entre eux de façon à produire une explosion simultanéeau moyen d'une même pile.

Les amorçages peuvent être disposés tous en circuit *direct* ou en *tension*. Chacun d'eux peut aussi être placé en dérivation ; on constitue ainsi un chapelet *dérivé* ou en *quantité*. Enfin on peut placer plusieurs amorçages en tension sur une même dérivation. On a ainsi un chapelet *mixte*. Les modes d'accouplement sont analogues à ceux que nous avons étudiés pour les éléments d'une pile.

Pour qu'un chapelet électrique donne de bons résultats, il faut que toutes les torpilles qu'il commande explosent simultanément. En effet, s'il n'en est pas ainsi, l'explosion des premières peut avarier les voisines, rompre le circuit s'il est direct, ou, s'il est dérivé, créer des pertes permanentes par la mer, qui affaiblissent le courant traversant les amorçages des torpilles restantes, et le rendent impuissant à déterminer l'explosion. En outre, l'ébranlement produit sur l'obstacle à détruire sera plus fort dans le cas de l'explosion simultanée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'explosion simultanée sera obtenue :

1° Si tous les amorçages sont d'égale résistance et exigent pour exploser la même intensité de courant ;

2° Si cette intensité nécessaire pour l'explosion est inférieure à l'intensité du courant circulant dans chaque dérivation et, par conséquent, dans chaque amorçage au moment où l'on met la pile dans le circuit.

Dans la pratique, il est impossible d'obtenir des amorçages de résistance identique ; mais cet inconvénient perd de sa gravité si l'on donne au courant une grande intensité. Car on active ainsi l'échauffement des fils ; on diminue donc le temps qui s'écoule entre chaque explosion et la fermeture du circuit, et l'on réduit l'intervalle qui sépare chaque explosion.

On sera d'autant plus assuré du succès que le courant fourni à chaque amorçage sera plus intense.

§ 738. **Groupement des piles pour un chapelet.** — Nous allons voir comment on peut associer les éléments d'une pile et les amorçages du chapelet pour obtenir un courant d'intensité maximum.

Supposons une pile comprenant un certain nombre d'éléments associés d'une manière déterminée, et un nombre fixe n d'amorçages constituant un chapelet ; le mode d'installation qui donnera à chacun d'eux le courant maximum sera celui où la résistance de l'ensemble de ces amorçages sera égale à la résistance de la pile augmentée de celle des conducteurs, comme nous l'avons vu § 617 à propos du groupement des éléments des piles.

Supposons le cas général où les amorçages sont en *circuit mixte :*

Soient t le nombre des amorçages placés dans chaque dérivation, et q le nombre des dérivations, de telle sorte qu'on ait

$$t \times q = n, \tag{1}$$

n étant le nombre total des amorçages.

Appelons a la résistance d'un amorçage ; la résistance d'une dérivation sera ta, et la résistance des q dérivations $\frac{ta}{q}$.

Soient E la force électromotrice de la pile, R la résistance de la pile et du circuit, i l'intensité du courant qui circulera dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

chaque dérivation ; l'intensité du courant principal sera qi, et l'on aura

$$qi = \frac{E}{R + \frac{ta}{q}};$$

on tire de là

$$i = \frac{E}{qR + ta}.$$

Si l'on fait $q = 1$, la formule est applicable au cas d'un chapelet en circuit direct ; si l'on fait $t = 1$, on a un chapelet en circuit dérivé.

Le maximum de i aura lieu pour la valeur minimum du dénominateur $qR + ta$. Or, c'est une somme de deux termes dont le produit est constant, puisque le produit $t \times q$ est égal au nombre fixe n. Cette somme atteindra donc son minimum quand les deux termes seront égaux ; ce qui donne

(2)
$$qR = ta,$$
$$R = \frac{ta}{q}.$$

La résistance présentée par le chapelet doit être égale à la résistance du reste du circuit, c'est-à-dire de la pile et des conducteurs.

On tire t et q des équations (1) et (2) :

$$t = \sqrt{\frac{nR}{a}}, \quad \text{et} \quad q = \sqrt{\frac{na}{R}}.$$

Supposons maintenant qu'on ait à faire exploser un certain nombre d'amorçages avec un nombre déterminé d'éléments de pile, l'association des amorçages en chapelet et le groupement des éléments de la pile étant laissés arbitraires. Nous allons prendre un exemple pour montrer comment le problème peut être résolu.

Admettons qu'on dispose de 24 éléments Leclanché à aggloméré, dont la résistance est $0^{ohm},47$ et la force électromotrice $1^{volt},4$; et qu'on veuille faire exploser simultanément 12 amorçages formés chacun d'une seule amorce dont la résistance est de 10 ohms. Un conducteur à 7 fils de 400^{m} de long réunit un des pôles de la pile à l'amorçage, et le circuit est complété par la mer. La résistance de ce conducteur est d'environ 1 ohm, et nous supposons que celle de la mer est aussi de 1 ohm.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La résistance des 24 éléments en tension est égale à $24 \times 0,47 = 11^{ohms},28$.

La résistance des 12 amorces en tension vaut 120 ohms ; et celle du conducteur et de la mer est de 2 ohms.

Nous disposerons donc la pile en tension ; et nous grouperons le chapelet de telle façon que sa résistance soit égale à $11,28 + 2 = 13^{ohms},28$.

Soient t le nombre d'amorçages placés en tension, et q ceux qui sont en quantité, on doit avoir

$$\frac{t \times 10}{q} = 13,28 ;$$

or

$$t \times q = 12 ;$$

d'où l'on tire

$$t = \sqrt{\frac{12 \times 13,28}{10}} = 3,9.$$

Nous prendrons le nombre entier le plus rapproché, soit 4. On disposera donc 3 dérivations comprenant chacune 4 amorces en tension.

La force électromotrice de la pile est de

$$1,4 \times 24 = 33,6 \text{ volts.}$$

La résistance du chapelet est

$$\frac{t \times 10}{q} = \frac{4 \times 10}{3} = 13,33 \text{ ohms.}$$

L'intensité du courant principal atteint

$$I = \frac{33,6}{13,28 + 13,33} = 1,26 \text{ ampère} ;$$

et dans chaque amorce on a une intensité

$$i = \frac{1,26}{3} = 0,42 \text{ ampère.}$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

7E PIE. — CHAPITRE II

TORPILLES FIXES

TORPILLES DORMANTES DE FOND

§ 739. **Définition**. — On appelle *torpilles dormantes de fond* celles qui sont placées sous l'eau dans une position déterminée et connue.

Elles restent fixées par leur propre poids, et sont employées pour la défense des passes.

Il en existe dans les diverses Marines trois types déterminés : les torpilles en fonte ancien modèle, les torpilles en fonte modèle modifié, les torpilles en tôle.

§ 740. **Torpilles dormantes de fond ancien modèle**. — On rencontre plusieurs sortes de torpilles construites sur ce modèle, et différant seulement par leurs dimensions.

Elles peuvent renfermer des charges de 2.000, 1.500, 1.000, 500 et 300kg de poudre noire.

Elles se composent d'une carcasse en fonte (Pl. XXVII, fig. 1), ayant la forme d'une calotte sphérique fermée par une base plane ; ce fond comporte quatre pieds ou crampons destinés à les maintenir fixes. La charge s'introduit à la partie supérieure par un trou cylindre. A côté de cet orifice se trouve un canal qui permet d'y crocher soit des élingues en chaîne ou en fil de fer, soit des crocs à déclic spéciaux pour mouiller ou relever les torpilles. Le trou de charge se ferme par une plaque circulaire en fer ayant un diamètre un peu moindre que celui de son logement, et portant un renflement cylindrique *a* qui pénètre dans le trou de charge. Le joint se fait au moyen d'une rondelle en plomb enduite de suif et de blanc de céruse.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

A la partie inférieure se trouve le trou d'amorce, dans lequel se visse le bouchon *c*. Cette pièce est taraudée pour recevoir le premier bouchon d'amorce *d*. Celui-ci est taraudé lui-même intérieurement et reçoit le deuxième bouchon d'amorce *k*. Toutes ces pièces sont percées, suivant leur axe, d'un canal cylindrique pour le passage étanche du *câble d'amorce* H. Les joints ont leur étanchéité assurée au moyen de rondelles *m*, *m* en fer et en caoutchouc. La vue 2 donne le détail des pièces dont nous venons de parler.

Amorçage et chargement. — L'amorçage est constitué par deux amorces *n*,*n* du genre n° 1 (§ 732), placées en *circuit dérivé*. Ces deux amorces viennent se relier au câble d'amorce, dans l'intérieur duquel se trouvent deux conducteurs isolés X, *y* ; mais, au sortir de la torpille, les deux conducteurs se séparent en R. L'un d'eux se rend au poste intérieur dont nous parlerons plus loin, l'autre se termine par une plaque de terre.

Pour charger la torpille, voici la série des opérations : enlever la porte de charge *a* ; dévisser les bouchons d'amorce ; visiter et assécher minutieusement l'intérieur de la torpille ; passer le câble d'amorce à travers les différents bouchons *k*, *d*, *c* ; joindre à l'extrémité de ce câble les deux amorces *n*, *n* ; faire ensuite effort sur le câble pour amener l'amorçage sur la base du bouchon du trou d'amorce ; serrer alors le bouchon de manière à assurer son étanchéité au moyen des rondelles *m*, *m* ; à ce moment introduire la poudre par le trou du haut au moyen d'un entonnoir en cuivre. L'amorçage doit se trouver dans une position invariable à peu près au centre de la charge. Quand la torpille est pleine, mettre la porte de charge en place.

La torpille étant chargée, il faut faire ce que l'on appelle l'épreuve de *conductibilité*, c'est-à-dire s'assurer que le courant, partant de l'un des conducteurs, passe par les amorces et revient par l'autre conducteur. Cette opération se fait au moyen d'un petit appareil comprenant une pile à eau et un galvanomètre, et portant le nom d'*appareil d'essai astatique à trois bornes*.

§ 741. **Appareil d'essai astatique à trois bornes.** — On comprend qu'on ne doit se servir pour les épreuves que de piles ayant une force électromotrice très faible, afin de ne pas provoquer l'explosion des amorces dont on veut vérifier l'état.

L'appareil d'essai (fig. 177) se compose d'une pile et d'un galva-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

nomètre. La pile est constituée par une cuvette en zinc Z reposant sur le fond d'une boite B, qui renferme les divers organes et se trouve nantie d'une anse Q pour son transport. Cette cuvette forme l'élément négatif. L'élément positif est une lame polaire en cuivre C, constituant le couvercle de la cuvette. A l'intérieur de celle-ci se trouve un morceau d'éponge grossière K E imbibée d'eau de mer.

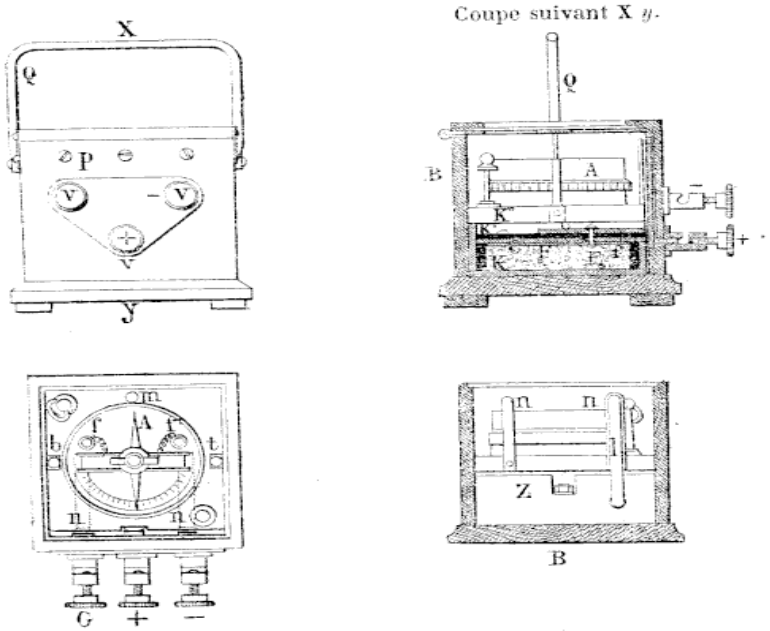


Fig. 177.

La cuvette porte un contre-couvercle en ébonite K′ par-dessus la lame polaire C.

Cette lame est reliée à une bande de cuivre fixée au couvercle K′, et un contact à ressort la fait communiquer à la borne (+). Une seconde borne, disposée de même et soudée sur la cuvette en zinc, établit le contact avec la borne (—). Une feuille K″ de caoutchouc vulcanisé est interposée entre la pile et le galvanomètre A. Celui-ci vient se poser sur la cuvette constituant la pile; il est rendu astatique au moyen d'un petit barreau aimanté. Les extrémités f, f' du fil du galvanomètre sont reliées à des bandes de laiton n, n, qui sont fixées en forme d'équerre dans la plaque K′; ces bandes se présentent l'une devant la lame à ressort qui établit le contact avec une borne spéciale G, l'autre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

devant la lame communiquant à la borne (—). L'appareil comporte donc trois bornes portant des vis V pour y attacher les fils extérieurs, et fixées elles-mêmes sur la face extérieure de l'une des parois de la boîte : elles sont désignées par les signes (G), (+), (—).

Grâce à cette disposition, si l'on veut constater l'existence du courant de la pile dans un conducteur, il suffit d'en fixer les deux extrémités aux bornes (+) et (G) ; le galvanomètre doit dévier. Le courant, partant du pôle positif, traverse le circuit, puis le galvanomètre, et arrive au pôle négatif de la pile.

Si l'on veut employer le galvanomètre seul, on se sert des deux bornes (G) et (—).

Si l'on désire employer la pile seule, on se sert des deux bornes (+) et (—).

§ 742. **Épreuves de conductibilité et d'isolement de l'amorçage de la torpille.** — L'épreuve de conductibilité se fait en mettant l'extrémité des deux conducteurs sortant de la torpille en communication avec les bornes (+) et (G) de l'appareil d'essai à trois bornes ; le galvanomètre doit dévier.

L'épreuve d'isolement a pour but de constater qu'il n'y a pas communication électrique entre les conducteurs ou les amorces et la carcasse de la torpille. Si un pareil fait existait, une faible partie du courant circulerait seulement par les amorces, au moment où l'on voudrait provoquer l'explosion ; car le courant presque entier passerait par la carcasse et la terre qui lui offriraient moins de résistance. Pour faire l'épreuve d'isolement, on attache un des conducteurs à la borne (G) de l'appareil, puis, par un fil auxiliaire, on met en communication la borne (+) avec la carcasse de la torpille. Si l'isolement existe, le galvanomètre ne doit pas dévier. Si le galvanomètre était influencé, c'est que le courant, partant du pôle (+), traverserait le fil auxiliaire, la carcasse de la torpille, le conducteur ou l'amorçage en communication accidentelle avec la carcasse, et reviendrait à la borne G, qui est reliée au pôle négatif de la pile.

La torpille étant chargée, et les épreuves ayant donné des résultats satisfaisants, il reste à la mouiller. Nous verrons plus loin de quelle manière s'effectue cette opération.

§ 743. **Torpilles dormantes de fond modèle modifié.**

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

— Il y a plusieurs variétés de ces torpilles, renfermant des charges de 2.000, 1.500, 1.000 et 500^{kg} de poudre noire ; les carcasses pèsent respectivement 8.800, 6.600, 4.600 et 2.400^{kg}.

Les torpilles du présent modèle (Pl. XXVII, fig. 2) ne diffèrent du modèle du § 740 que par la position du trou d'amorce A, qui se trouve à la partie supérieure à côté du trou de charge B, au lieu d'être au milieu de la base.

Le trou d'amorce se ferme : 1° au moyen d'un bouchon C (vue 2) en fer fileté, percé intérieurement d'un trou cylindrique taraudé ; 2° d'un bouchon D en fer fileté, percé d'un canal cylindrique pour le passage du câble d'amorce, et comprimant des rondelles en caoutchouc vulcanisé afin d'assurer l'étanchéité. Tout ce qui a été dit pour les torpilles du § 740 relativement au chargement et aux épreuves, convient à ce modèle.

§ 744. **Conditions principales que doivent remplir les torpilles dormantes.** — Les conditions principales que doivent remplir les torpilles dormantes sont les suivantes :

1° Une bonne tenue sur le fond et une disposition offrant peu de prise au dragage ;

2° Une épaisseur de métal leur permettant de résister à la pression statique de la colonne d'eau qui les recouvre et au choc des explosions voisines ;

3° Un mode de fermeture parfaitement étanche ;

4° Un poids et un volume maniables.

La condition de résister au choc des explosions voisines était très mal réalisée dans les modèles en fonte. Au début, en effet, les torpilles en fonte avec un rayon d'action de 7^{m},50 à la surface de l'eau devaient, au point de vue de leur efficacité, être placées à 32 mètres les unes des autres (§ 747). Mais, à cette distance, l'explosion d'une torpille déterminait la rupture des voisines. En outre, lorsqu'on décida de remplacer la poudre noire par le fulmicoton, on reconnut que les torpilles en fonte par leur forme se prêtaient très mal à ce nouveau chargement, à cause de la disposition des slabs qu'il s'agissait d'y introduire. Toutes ces raisons ont fait rechercher une nouvelle torpille d'un métal plus résistant que la fonte, et pouvant être chargée sans trop de difficultés au fulmicoton. Les torpilles en tôle réalisent ces conditions. Des expériences faites dans tous les ports, no-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tamment à Cherbourg, ont permis de constater la résistance considérable que présente leur carcasse au choc des torpilles voisines. On a pu ainsi les placer à 32 mètres de distance et sur une seule ligne, tandis que les torpilles en fonte ont dû être disposées sur deux lignes à 64 mètres l'une de l'autre.

§ 745. **Torpilles de fond en tôle.** — Ce modèle de torpilles, très répandu dans les diverses Marines, s'y rencontre sous différentes dimensions, avec des charges de 700, 600, 500 400^{kg} de fulmicoton comprimé.

Les carcasses pèsent vides 696, 642, 573, 527^{kg}; elles sont zinguées, et présentent la forme d'un cylindre (Pl. XXVII, fig. 3, vue 1) recouvert à ses deux extrémités par des calottes bombées B, B′; l'une d'elles B est fixe, l'autre est mobile et sert de porte de charge. La fermeture s'opère au moyen de boulons à double écrou. L'étanchéité du joint est obtenue par l'interposition d'une rondelle en plomb enduite de suif et de céruse.

La partie cylindrique de la torpille est destinée à recevoir la charge. Les collerettes bombées sont remplies par des soufflages en bois. Cette disposition a pour but de faciliter l'arrimage des slabs, et en même temps de donner à la torpille plus de résistance contre le choc de celles qui explosent dans son voisinage, le bois servant à amortir l'effort que supportent les calottes.

Au centre de la calotte mobile vient se rapporter à demeure un chapeau A (vue 2), faisant fonction de bouchon de trou d'amorce; il est en fer, fileté.

Dans cette pièce est vissé un bouchon d'amorce B, percé, dans le sens de sa longueur, d'un trou cylindrique destiné au passage d'un conducteur à sept fils. L'étanchéité est obtenue au moyen de rondelles en caoutchouc comprimées entre une rondelle métallique à ergot C, qui reçoit le serrage du bouchon d'amorce, et une autre rondelle métallique qui occupe le fond du logement.

Le conducteur en sortant de la torpille fait une boucle en D après avoir été bridé sur lui-même. Il est protégé des chocs par un chapeau en tôle F, fixé par des vis à la calotte mobile. A l'intérieur de la partie cylindrique se trouve une vis destinée à relier l'une des branches de l'amorçage au métal de la torpille qui joue ainsi le rôle de plaque de terre.

Deux brides en fer forgé entourent la torpille à ses deux extré-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mités ; elles portent des émerillons G destinés à recevoir les crocs ou les élingues de mouillage. Elles sont également munies à la partie inférieure de pieds H, H, à l'aide desquels la torpille repose sur le fond.

Amorçage et chargement. — Les torpilles de fond en tôle sont chargées avec du fulmicoton contenant de 20 à 23 p. 100 d'eau. L'emploi du fulmicoton humide exige (§ 726) une charge-amorce composée de fulmicoton sec ; mais il est indispensable que celle-ci soit placée au centre dans le voisinage immédiat de la charge humide, et qu'elle en soit séparée par une enveloppe étanche. Cette enveloppe prend le nom de *tube* ou de *boîte d'amorce*, selon qu'elle a la forme d'un cylindre ou d'un parallélipipède. Pour les torpilles en tôle, on se sert d'une boîte d'amorce. Celle-ci (vue 3), formée d'un parallélipipède en tôle de $1/2^{mm}$, doit recevoir deux slabs. Sa partie supérieure est soudée à une collerette rectangulaire destinée à servir de siège à un obturateur de même forme A portant extérieurement la tubulure du bouchon-caoutchouc B, nécessaire au passage étanche des branches d'amorce. Le joint se fait par la compression d'une feuille de caoutchouc G.

La rondelle extérieure D est à ergot, et l'écrou doit être sans oreilles, afin de diminuer les irrégularités de la boîte et de faciliter ainsi son contact rigoureux avec la charge humide. Pour obtenir ce résultat, on découpe les slabs humides placés à l'extérieur de façon à loger la collerette, ses écrous et sa tubulure. Le bouchon B se compose d'une série de rondelles de caoutchouc vulcanisé, comprimées par une broche à écrou qui passe au milieu.

Pour préparer l'amorçage de la torpille, on prendra deux amorces réglementaires, qu'on joindra en circuit dérivé, et qu'on engagera dans deux slabs de fulmicoton sec du poids de 645 grammes chacun.

Le joint de la boîte d'amorce étant fait, on procédera à l'épreuve de conductibilité de cette boîte considérée seule, en mettant les extrémités des deux amorces en contact avec les bornes (+) et (G) d'un appareil d'essai à trois bornes ; il doit y avoir déviation. On fera aussi l'épreuve d'isolement comme nous l'avons indiqué au § 742.

Pour opérer le chargement, on remplira la torpille de slabs de fulmicoton, de manière à laisser le moins de vide possible ; on placera la boîte d'amorce au centre et à la partie supérieure de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la charge. On joindra une des branches de l'amorce à la vis qui est en communication avec la carcasse de la torpille. L'autre branche sera reliée à un conducteur passant par les bouchons d'amorce à travers la calotte mobile.

La porte de charge étant mise en place, on fera l'épreuve de conductibilité de l'amorçage à son poste, en reliant le conducteur sortant de la torpille à la borne (+) de l'appareil d'essai. Avec un fil auxiliaire attaché à la borne (G), on touchera la carcasse de la torpille. Il doit y avoir déviation.

L'épreuve d'isolement ne peut avoir lieu avec ces torpilles.

§ 746. **Torpilles dormantes mouillées**. — Ce système étant resté jusqu'à présent à l'état de projet, nous n'en dirons que quelques mots.

Ainsi qu'on le voit sur la Pl. XXVII, fig. 4, cette torpille comporte deux parties essentielles : l'enveloppe et la caisse.

L'enveloppe en tôle d'acier est terminée par deux calottes bombées M, M′ ; elle sert à donner la flottabilité nécessaire à la torpille. La caisse de charge R, en tôle d'acier, repose par ses quatre coins inférieurs sur des pattes A rivées à l'intérieur de l'enveloppe. Elle est soutenue en son milieu par la cornière intérieure B, et dans le haut par quatre bras en fer S′ rivés aussi sur l'enveloppe.

Les torpilles mouillées doivent avoir 10 mètres d'eau au-dessus d'elles à marée basse, et occuper une position rigoureusement fixe. Cette fixité exige trois amarres.

On les installe également inclinées sur l'horizontale, et l'on suppose que leurs crapauds doivent occuper sur le fond les sommets d'un triangle équilatéral. Les trois orins d'une torpille mouillée forment donc les arêtes d'une pyramide triangulaire. Pour disposer le mouillage, il faut commencer par déterminer les arêtes et les côtés de la base de la pyramide. Afin de calculer l'effort horizontal Q que le courant maximum de la localité exercera sur l'enveloppe de la torpille, on se servira de la formule

$$Q = KBV^2 \frac{d}{g},$$

dans laquelle K = 0,7 eu égard à la forme cylindrique de la torpille ; B exprime en mètres carrés la section par l'axe, V la vitesse du

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

courant, d la densité de l'eau de mer, g l'accélération due à la pesanteur.

De son côté, la force de flottabilité F de tout le système est connue ou mesurée. Dès lors, l'inclinaison que doit avoir chaque orin sur la verticale pour résister aux deux forces Q et F, sera donnée par la relation $tg\,\alpha = \frac{Q}{F}$.

L'angle α étant trouvé, on obtient facilement la longueur d'une arête et celle du côté du triangle équilatéral de la base. Il faut alors choisir des crapauds de poids suffisant pour maintenir la torpille en place.

DÉFENSE DES PASSES

§ 747. **Distances des torpilles.** — La charge des torpilles dormantes ayant été calculée pour fournir à la surface de l'eau un rayon d'action de $7^m,50$ (§ 725), on songea d'abord à les disposer sur une seule ligne, deux torpilles voisines devant être distantes du double du rayon d'action, plus de la largeur des bâtiments supposés devoir forcer la passe. On admit pour ceux-ci une largeur de 17^m, de sorte que les torpilles devaient se trouver à une distance de $17 + 15$, soit à 32^m les unes des autres. Nous avons vu (§ 744) qu'à cette distance l'explosion d'une torpille en fonte déterminait la rupture des voisines. On a donc dû placer les torpilles en fonte sur deux lignes parallèles, la distance des deux lignes étant $55^m,5$. Les torpilles disposées en quinconce sont ainsi à 64^m les unes des autres.

Depuis l'adoption des torpilles en tôle, on a établi une seule ligne de mouillage, et un espacement de 32^m. Avec ces torpilles aucun accident de rupture ou d'écrasement n'est à craindre.

§ 748. **Établissement d'une ligne de défense. Observatoires.** — Avant de désigner l'emplacement de la ligne de torpilles, il faut faire une étude approfondie de la localité. Il sera avantageux de se servir d'une partie resserrée de passe, les profondeurs d'eau n'y seront pas trop considérables, et ne dépasseront, si c'est possible, 24^m. Les courants n'y devront pas être trop forts.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Des fonds de roche sont désavantageux ; un fond de vase ou de sable sera préférable. La côte devra être élevée dans le voisinage de la ligne de défense, pour faciliter la surveillance et en agrandir le champ.

La ligne de défense étant choisie, on établit deux observatoires pour la mise en feu des torpilles.

Le premier observatoire ou poste *extérieur* E'(fig. 178) se

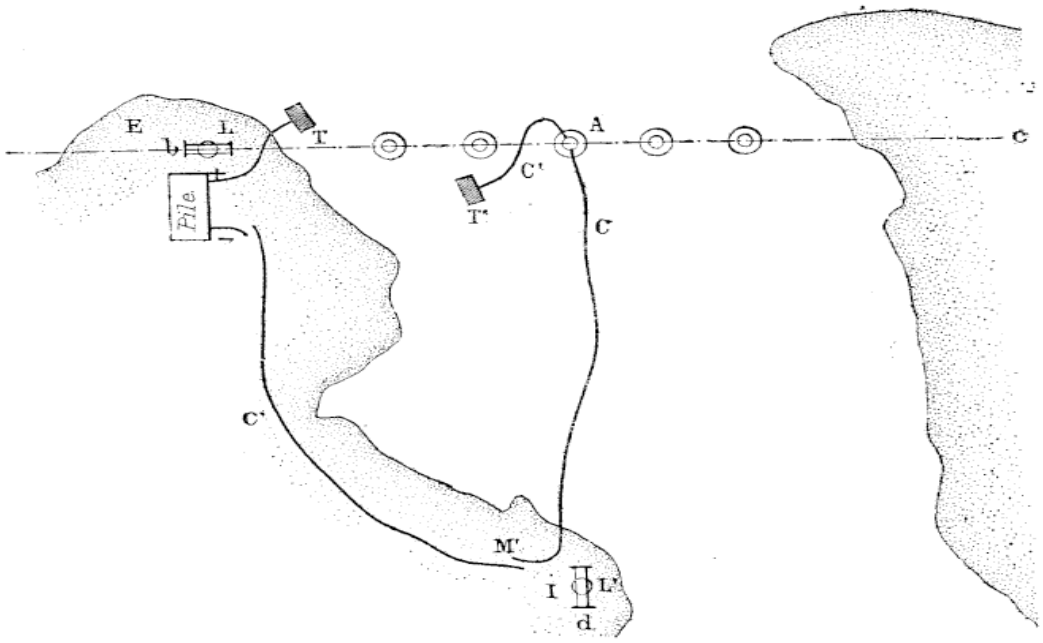


Fig. 178.

trouve sur le prolongement de la ligne de torpilles. Il est muni d'une lunette L orientée suivant cette ligne.

Le deuxième observatoire ou poste *intérieur* I est placé, autant que possible, sur la perpendiculaire élevée au milieu de la ligne, dont il ne doit pas être éloigné de plus de 1.200 à 1.500^{m}. Il est muni d'une lunette mobile L′ pouvant se diriger sur une torpille quelconque.

Les deux observatoires doivent être cachés à l'ennemi, et autant que possible dans le voisinage d'un fort et à l'abri d'un coup de main.

Une torpille étant mouillée en A, un de ses conducteurs C est rattaché au poste intérieur I ; le second conducteur C′ se relie à la terre en T′, au fond de l'eau.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Au poste extérieur E se trouve la pile d'inflammation, dont le pôle positif est rattaché à la terre en T. Nous disons le *pôle positif* pour le motif expliqué au commencement du § 706.

Un conducteur partant du pôle négatif de la pile relie les deux postes. Ce conducteur, qu'on nomme *fil intermédiaire*, est muni à chaque poste d'un interrupteur.

Cette disposition étant adoptée, voici comment on provoque l'explosion d'une torpille :

Dès que l'observateur du poste intérieur aperçoit au moyen de la lunette L′ un navire ennemi dans la direction *d*A de la torpille A, par exemple, il ferme l'interrupteur M′. De son côté, aussitôt que l'observateur placé au poste extérieur voit le navire ennemi sur la ligne de défense, au moyen de la lunette L fixée invariablement dans cette direction *bc*, il ferme son interrupteur. A ce moment, le navire se trouvant à la fois sur la ligne *d*A et sur la direction *bc* est placé à leur intersection, c'est-à-dire en A, précisément au-dessus de cette torpille ; et comme les deux interrupteurs sont fermés, l'explosion a lieu.

Pour une autre torpille, les choses se passeraient d'une manière identique.

Le courant traversant l'amorce provoque le rougissement du fil de platine; le fulminate de mercure explose, fait détoner le fulmicoton sec servant de charge-amorce; et celui-ci provoque la détonation du fulmicoton humide. Si la torpille est chargée de poudre noire, les amorces produisent directement l'explosion de la poudre.

D'après la disposition que nous avons indiquée, l'explosion d'une torpille ne peut avoir lieu que lorsque les deux interrupteurs sont fermés à la fois ; sinon le circuit reste ouvert.

§ 749. **Matériel du poste extérieur.** — Le poste extérieur comporte : une table de manipulation, une pile, une bobine de résistances variables, un appareil télégraphique avec sa pile, un commutateur pour sonnerie électrique avec sa pile et un appareil d'essai. Nous allons passer en revue ces instruments.

§ 750. **Table de manipulation.** — Elle comporte (fig. 179) une lunette fixe, dont le pivot en bronze est relié invariablement avec la partie supérieure d'un socle rectangulaire en fonte, établi

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à l'aide de boulons et de trois vis calantes sur un massif de maçonnerie. Cette lunette porte deux fils réticulaires en croix, et ne peut se mouvoir que de quelques degrés, à l'aide d'un pignon, dans le plan vertical passant par la ligne médiane des torpilles.

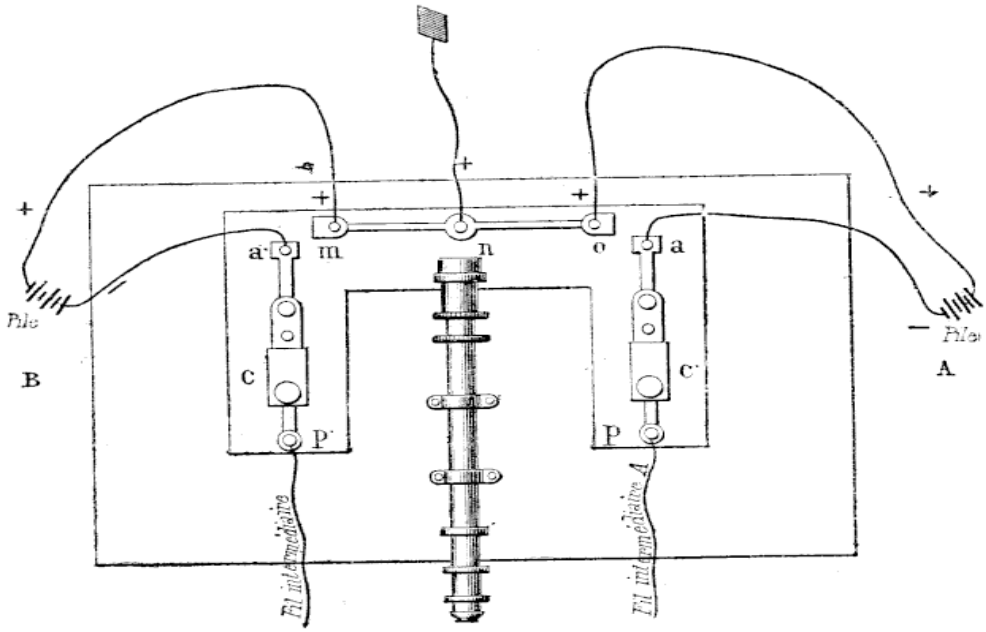


Fig. 179.

A côté de la lunette se trouve, suivant qu'il y a une ou deux rangées de torpilles, un ou deux conjoncteurs C, C′, dont on voit la coupe dans la figure 180.

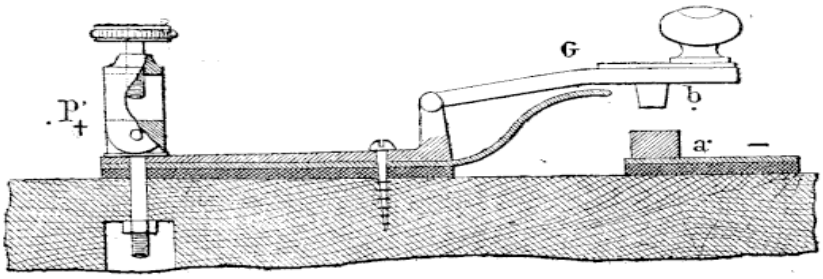


Fig. 180.

Ces instruments sont placés de manière que l'observateur puisse les manœuvrer facilement, tout en ayant l'œil à l'appareil de visée.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La borne a' est reliée au pôle négatif de la pile ; la borne P′ se rattache au fil intermédiaire.

Si les torpilles sont disposées sur deux rangées parallèles, ce qui est le cas des torpilles en fonte, la lunette est placée dans la ligne médiane des deux rangées ; il existe alors deux fils intermédiaires et deux piles d'inflammation.

En avant de la lunette se trouve une bande de cuivre (fig. 179), portant trois bornes m, n, o. Celle du centre n reçoit le fil de terre du poste extérieur. Celles des extrémités m, o sont reliées aux pôles positifs des piles d'inflammation.

En pressant sur le bouton de l'un des conjoncteurs, la communication électrique s'établit entre le fil intermédiaire de sa rangée et la pile d'inflammation qui lui est affectée.

§ 751. **Pile d'inflammation.** — Le circuit complet d'une torpille dormante peut atteindre jusqu'à 3.000 et même 4.000^m de longueur. Il présente donc une grande résistance, et il faut faire usage d'une pile ayant une force électromotrice élevée.

La pile d'inflammation en usage se compose de trente-cinq éléments au bichromate de potasse répartis en sept boîtes de cinq éléments chacune. Six de ces boîtes sont en service ; la septième est destinée au rechange.

§ 752. **Boîte de résistances variables.** — La boîte de résistances variables sert à faire l'épreuve de la pile d'inflammation. Cette pile doit être suffisante pour faire exploser deux amorces en dérivation dans un circuit comprenant, en outre de la résistance des conducteurs, celle de la boîte, c'est-à-dire une résistance équivalente à 15.000^m de conducteur à sept fils (400^m de ce conducteur représentent 1 ohm).

§ 753. **Appareil télégraphique.** — L'appareil télégraphique sert à la transmission des ordres et des renseignements entre les deux postes. Il comporte un fil intermédiaire spécial dit *télégraphique ;* il est desservi par une pile Leclanché à six couples. Cet appareil est du système Morse, modèle Digney. Il se compose d'un récepteur et d'un manipulateur tels que nous les avons décrits § 707 et 708.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 754. **Galvanomètre.** — L'appareil de M. Digney est pourvu d'un galvanomètre, qui sert à voir si le courant passe, et se trouve installé comme il suit :

L'aiguille aimantée *ab* (fig. 181) est entourée d'une double bobine N, N′ ; elle tourne autour d'un axe horizontal *o*, et, par suite, ne peut se mouvoir que dans un plan vertical. Cet axe tra-

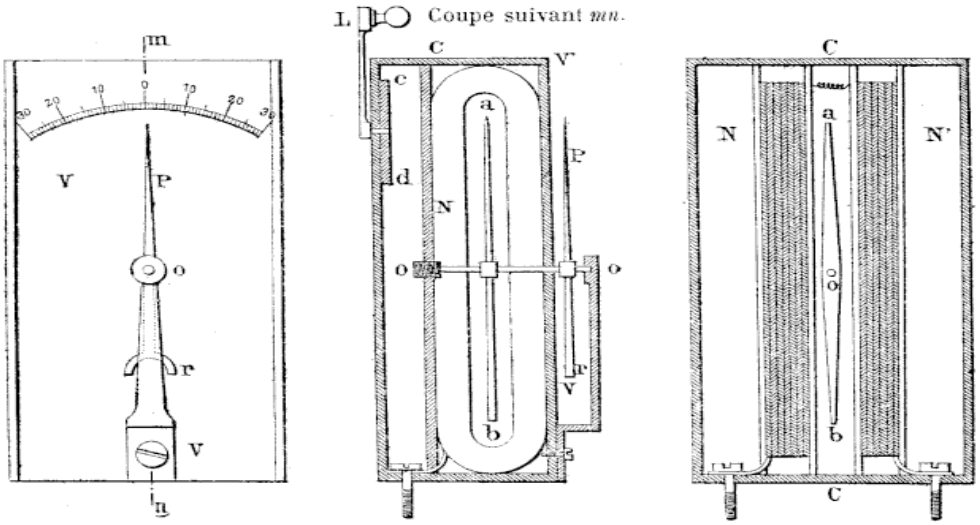


Fig. 181.

verse librement un cadran vertical gradué V, et porte une aiguille indicatrice en acier P*r*, munie à son extrémité inférieure *r* d'un petit poids en forme de croissant qui est destiné à maintenir, au repos, cette aiguille verticale ainsi que l'aiguille aimantée. Enfin, il existe un petit aimant directeur *cd* (§ 563), manœuvrable par la poignée L.

Le tout est renfermé dans une boite C.

§ 755. **Matériel du poste intérieur. Tables de manipulation.** — Le poste intérieur comporte des tables de manipulation en nombre variable avec celui des torpilles : soit une table pour chaque groupe de seize torpilles disposées en une ou deux rangées.

Le matériel du poste comprend en outre un nombre égal de sonneries électriques ; un appareil télégraphique avec sa pile ; des appareils d'essai à trois bornes ; un appareil d'essai ordinaire pour chaque table ; une pile Leclanché.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La table de manipulation (fig. 182) se compose d'un socle en fonte établi à l'aide de boulons et de vis calantes sur un massif en maçonnerie, et portant une lunette à réticule. Celle-ci peut se mouvoir de quelques degrés seulement dans le plan vertical à

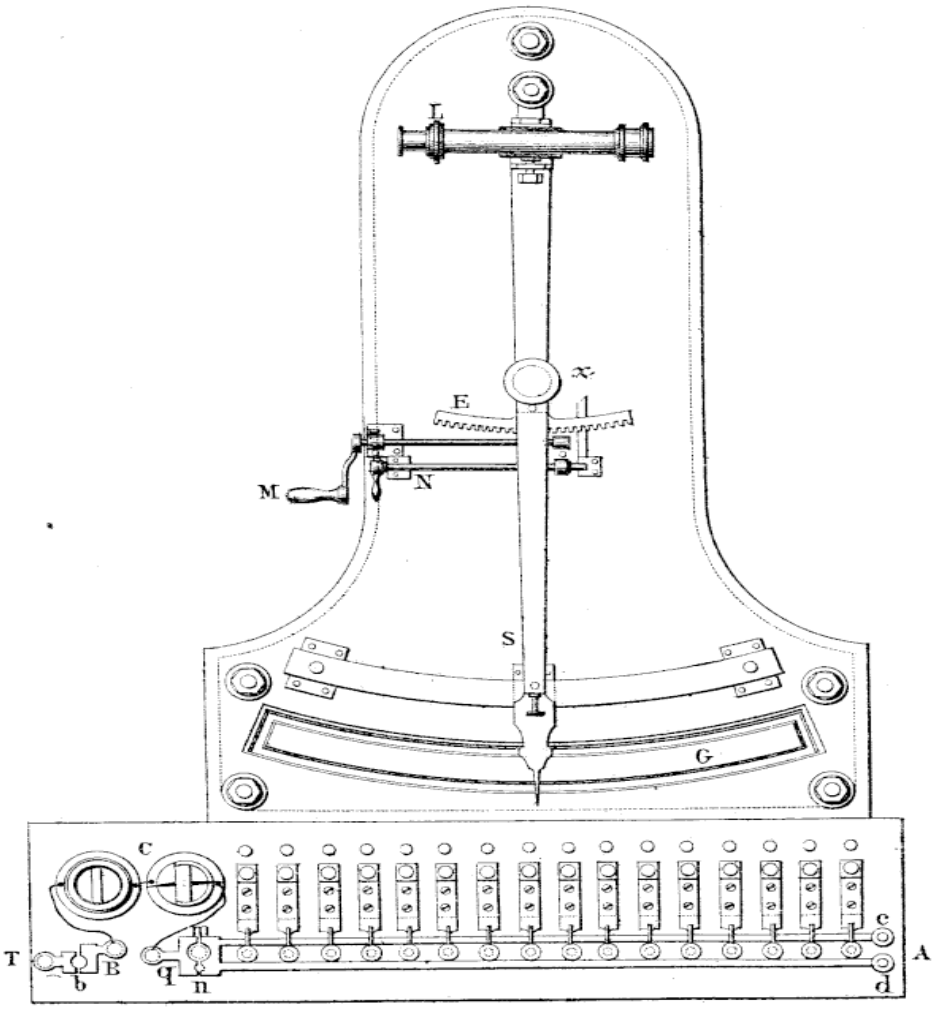


Fig. 182.

l'aide d'un pignon à crémaillère ; mais elle est mobile dans le plan horizontal, et peut se diriger sur un point quelconque du champ qu'elle a à surveiller. Pour cela, elle est supportée par un manchon vertical en bronze tournant à frottement doux autour d'un pied cylindrique fixé au socle.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Ce manchon est muni à sa partie inférieure d'une aiguille indicatrice S, manœuvrée par un secteur E en bronze engrenant avec une vis sans fin que l'on peut faire tourner au moyen de la manivelle M. Une manette N permet d'embrayer à volonté la vis sans fin avec le secteur denté. L'aiguille porte un bouton x qui sert à la manœuvrer à la main. Elle est supportée à son extrémité par un galet roulant sur un secteur en cuivre. La pointe qui termine l'aiguille parcourt une glace dépolie G incrustée dans un limbe métallique qu'on éclaire la nuit par le côté du socle. Sur la glace de la table de manipulation a été marqué le point exact où se trouve l'extrémité de l'aiguille liée à la lunette quand le point de croisement des fils réticulaires de celle-ci est dirigé sur le gisement d'une torpille donnée.

Près du socle et du côté du limbe se trouve fixé un clavier AT, sorte de table rectangulaire en bois dur, sur laquelle sont rangées seize bornes destinées à recevoir les conducteurs des seize torpilles du groupe desservi par la table de manipulation. Ces conducteurs sont d'abord fixés au moyen de cavaliers à une planche appliquée sur le massif en maçonnerie au-dessous du clavier; ils traversent ensuite des trous pratiqués dans le clavier, et enfin aboutissent aux bornes.

Chaque borne communique à un manipulateur disposé comme le conjoncteur que nous avons décrit § 750, et dont le bouton porte le numéro de la torpille correspondante.

Les manipulateurs pairs correspondent à une bande de cuivre terminée par une borne d, où aboutit le *fil intermédiaire* de la première rangée de torpilles. Une seconde bande terminée par une borne c est réservée à l'autre rangée, qui est commandée par les manipulateurs impairs.

En C est un appareil d'essai servant à faire les épreuves; il est desservi par des fils auxiliaires que l'on attache aux bornes B et q. Deux bouchons m, n permettent de faire les épreuves des torpilles appartenant soit à la première soit à la seconde rangée. Une borne T est liée à la plaque de terre de l'appareil d'essai, que l'on peut supprimer en enlevant le bouchon b.

Manœuvre. — En résumé, comme nous en avons déjà parlé au § 748, voici la série des opérations que l'on a à exécuter pour déterminer l'explosion d'une torpille :

Au poste intérieur, quand, en suivant avec la lunette le navire

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ennemi, on voit l'extrémité de l'aiguille se placer vis-à-vis du trait indiquant le gisement d'une torpille, on presse sur le bouton qui porte son numéro.

Au poste extérieur, lorsque le navire apparait sur la ligne des torpilles, on appuie sur le conjoncteur. Le courant s'établit ; et l'explosion se produit.

Ce système de défense peut être employé la nuit pour les passes peu larges, grâce à la lumière électrique et au réflecteur du colonel Mangin, qui permet d'y lancer un faisceau lumineux assez puissant.

La lumière électrique est donc un auxiliaire indispensable à la défense des passes.

Quand on sera privé de ce moyen d'éclairage, que le temps sera brumeux, en un mot, lorsque les assaillants ne pourront être vus, la défense, telle que nous venons de la décrire, sera paralysée.

§ 756. **Epreuves; appareil d'essai.** — La ligne étant établie, on doit faire souvent les épreuves suivantes : 1° épreuve de conductibilité des conducteurs des torpilles ; 2° épreuve de conductibilité et d'isolement des fils intermédiaires ; 3° épreuve du circuit complet de chaque torpille.

On fait ces opérations au moyen de l'appareil d'essai C (fig. 182), et en manœuvrant les conjoncteurs et les manipulateurs d'une manière convenable.

L'appareil d'essai est astatique, et se compose d'une pile à eau et d'un galvanomètre, placés côte à côte sur un même socle en bois.

Le galvanomètre (fig. 183) est muni d'un petit barreau aimanté *ed*, qui maintient l'aiguille aimantée *ab* en regard de ses pôles tant qu'un courant ne passe pas.

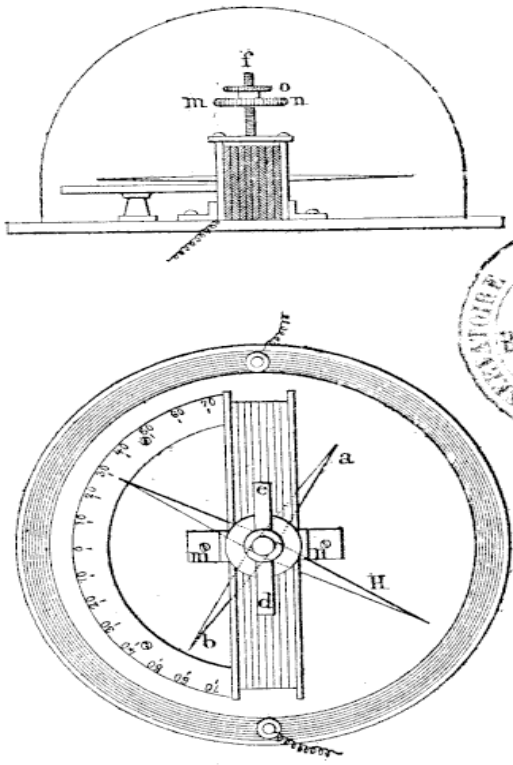


Fig. 183.

BIBLIOTHÈQUE DES ARTS ET MÉTIERS

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Une aiguille indicatrice H, perpendiculaire à *ab*, se meut sur un cadran divisé.

TORPILLES VIGILANTES

§ 757. **Classification.** — Diverses circonstances gênent quelquefois ou empêchent la visée des observateurs chargés de défendre une passe ; et, dans ce cas, les torpilles dormantes ne peuvent être mises en feu au moment opportun. Afin de remédier à cet inconvénient, on emploie, pour fermer une passe ou défendre une rade, des torpilles dites *vigilantes*. Ces engins, maintenus entre deux eaux à une certaine immersion par une flottabilité convenablement prévue, sont tenus au fond par un système de crapaud et d'orin. Les torpilles sont munies d'un mécanisme tel que, quand la carène d'un bâtiment les choque, un contact électrique s'établit à l'intérieur même de la torpille, et l'explosion peut être déterminée soit par la torpille elle-même soit par un poste d'observation.

Les torpilles vigilantes sont de deux espèces : *électro-automatiques ; automatiques-électriques.*

Elles affectent deux dimensions, et contiennent une charge de fulmicoton humide de 41^{kg} ou de 25^{kg}.

Dans les expériences entreprises pour constater les effets à distance des torpilles sur les navires, on a trouvé qu'une charge de 10^{kg} de fulmicoton ou de 25^{kg} de poudre noire à une immersion convenable était suffisante pour endommager gravement la carène des cuirassés actuels. Il a été aussi établi que 15^{kg} de fulmicoton explosant à une immersion de 3^{m}, à la distance de 1^{m} de la coque d'un navire, déterminaient des avaries suffisantes pour entraîner la perte du bâtiment. C'est en se basant sur ces données, et en observant que les torpilles vigilantes ont une chambre à air qui diminue un peu l'efficacité de la charge, qu'on a déterminé les charges de 41^{kg} ou 25^{kg}.

Dans les ports sans marées, les torpilles vigilantes devront se trouver à 3^{m} d'immersion ; dans les ports à marées, à 60^{cm} au-dessous des plus basses mers.

§ 758. **Torpilles vigilantes électro-automatiques.** — Ces torpilles ne peuvent faire explosion qu'à la volonté des

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

observateurs. Dans ce but, elles sont reliées par un conducteur à un observatoire où se trouve la pile d'inflammation. Elles servent à compléter la défense d'une passe fréquentée par des bâtiments amis.

Les torpilles vigilantes (Pl. XXVII, fig. 5) comprennent trois parties principales :

La carcasse avec son bourrelet ; le cylindre de charge ; le ferme-circuit.

Carcasse. La carcasse C est en tôle d'acier zingué, et affecte la forme d'un tronc de cône fermé par deux calottes sphériques.

La petite base est munie en son centre d'un trou d'amorce A identique à ceux des torpilles de fond en tôle, et qui sert à rendre étanche le passage du conducteur à sept fils qui va rejoindre l'amorçage à l'intérieur de la torpille. La carcasse porte à sa partie inférieure deux pattes B munies d'un œil, pour recevoir les branches de la patte d'oie sur laquelle vient s'amarrer l'orin de la torpille.

La grande base est percée en son centre d'un trou d'homme D, fermé par une porte bombée en tôle. Le joint est rendu étanche au moyen d'une rondelle de plomb enduite de minium et de céruse.

La partie supérieure de la torpille est enveloppée par un matelas de bois E destiné à la protéger contre les chocs. La porte de charge est munie également d'un plateau en bois E′.

A son intérieur, la carcasse est divisée en trois compartiments par deux diaphragmes en tôle percés en leur milieu d'ouvertures circulaires livrant passage au cylindre de charge F.

Cylindre de charge. La charge est contenue dans un cylindre F, en cuivre rouge, ouvert à sa partie supérieure. Ce cylindre se fixe sur le diaphragme supérieur H, au moyen d'une collerette K soudée à son extrémité et de quatre boulons servant à faire le joint.

Le cylindre de charge est fermé par la porte M, avec interposition d'une rondelle en caoutchouc, au moyen d'une couronne en bronze I évidée en-dessous, et s'emboîtant sur les rebords extérieurs tant de la porte que de la collerette du cylindre. La fermeture s'achève à l'aide de boulons.

La porte de charge est munie à son centre d'un tube amorce N en cuivre rouge fermé par le bas. L'ouverture de ce tube se ferme par un bouchon en caoutchouc O. De son côté, l'amorce contient des cylindres de fulmicoton sec dans lesquels se trouvent logés.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

selon l'axe, deux amorces *p*, *p* en circuit dérivé. Ces cylindres de fulmicoton sec constituent la *charge-amorce*.

Ferme-circuit. Le ferme-circuit est supporté par quatre montants en cuivre R ; ceux-ci sont fixés à leur partie inférieure sur la couronne évidée I au moyen de quatre boulons filetés. Le système comprend une cuvette en cuivre nickelé Q, renfermant une boule de même métal S.

Rappelons que toutes les pièces qui, par le contact, doivent fermer un circuit, sont presque toujours nickelées, afin d'empêcher la formation de l'oxyde, mauvais conducteur de l'électricité.

La cuvette est en communication avec la mer par le métal de la torpille. Sur son couvercle se trouve fixée une plaque de contact *u* en cuivre nickelé, avec interposition de deux rondelles de caoutchouc vulcanisé pour *isoler* la plaque *u* d'avec la cuvette. Cette plaque porte une masselotte en cuivre où vient se fixer l'extrémité d'une des branches V du fil d'amorçage, après avoir traversé un bouchon en caoutchouc T.

La boule reste en équilibre au fond de la cuvette quand l'axe de la torpille est vertical ; le circuit est alors ouvert. Mais si l'axe s'incline de 33° environ, la boule touche le couvercle, et le circuit se trouve fermé.

Chargement. Le fulmicoton a la forme de disques de 45^{mm} d'épaisseur, percés d'un trou central pour le passage du tube-amorce ; ils pèsent 2^{kg},538. Les torpilles n° 1 en contiennent seize, les torpilles n° 2 dix.

L'opération du chargement se fait comme il suit : On dispose les disques dans le cylindre de charge, et on boulonne la couronne évidée I en interposant la rondelle en caoutchouc.

La charge humide étant ainsi renfermée d'une manière étanche, on place les disques en fulmicoton sec dans le tube d'amorce ; après y avoir logé deux amorces en circuit dérivé, on joint une des boucles de l'amorçage à la plaque de contact de la cuvette, et l'on serre le bouchon T.

A ce moment l'on fait l'épreuve d'isolement. Pour cela, on met l'extrémité de la branche d'amorce restée libre à la borne (+) d'un appareil d'essai à trois bornes ; on joint par un fil auxiliaire la borne (G) à la carcasse du cylindre de charge ou à l'extérieur de la cuvette ; l'aiguille ne doit pas dévier.

Pour faire l'épreuve de conductibilité, on incline le cylindre de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

charge de 33° environ ; l'aiguille du galvanomètre doit dévier, le circuit se trouvant fermé par la boule de contact.

Les épreuves étant satisfaisantes, on place le cylindre de charge dans la carcasse, et l'on joint la branche de l'amorçage restée libre au conducteur à sept fils qui traverse le bouchon d'amorce A ; on ferme enfin le trou d'homme D, et la torpille est prête à être mouillée.

On effectue le mouillage des torpilles électro-automatiques à des relèvements déterminés, comme pour les torpilles dormantes. On les dispose en ligne à 20^{m} d'intervalle. De cette façon un navire forçant la ligne aura bien des chances d'en rencontrer une. Elles doivent se trouver à une assez grande distance des torpilles dormantes pour être à l'abri de leur commotion.

Crapaud. Le crapaud en fonte (vue 2), pesant 500^{kg} pour les torpilles n° 1, et 145^{kg} pour les torpilles n° 2, a la forme d'un champignon, et est muni de quatre pieds A, ou crampons destinés à le fixer solidement sur le fond. A sa partie supérieure il porte trois pitons : l'un B situé au centre est destiné à recevoir la chaîne de mouillage ; les deux autres C, C sont placés latéralement pour l'amarrage de l'orin. La torpille est réunie au crapaud par un orin coupé à la longueur convenable pour que le dessus de la torpille se maintienne à l'immersion voulue. Le conducteur d'amorçage de la torpille élonge l'orin, sur lequel du reste il est genopé, et gagne le crapaud ; de là il se rend à l'observatoire, où il s'attache à une table de manipulation.

Table de manipulation. Sur une planchette en bois dur (fig. 184), de 25^{cm} de largeur, et dont la longueur dépend du nombre de torpilles, se trouvent des bornes a, a..., accompagnées de bouchons disjoncteurs b, b..., portant des numéros d'ordre, et recevant les fils conducteurs des torpilles. Ces bornes, par l'intermédiaire des bandes en cuivre c, c..., sont en communication électrique avec une traverse commune DD également en cuivre. A l'extrémité de celle-ci se trouve un disjoncteur A à bouchon, servant à interrompre à volonté la communication avec une borne K qui reçoit le conducteur venant du pôle négatif de la pile.

Un galvanomètre G sert à faire les épreuves. A cet effet, il porte deux fils i, i se terminant par deux crayons métalliques H, H séparées par un isolant R. Le pôle positif de la pile communique avec une plaque de terre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Circuit. Le bouchon du disjoncteur A étant en place, les torpilles sont offensives. Si à ce moment l'une d'elles subit un choc qui la fasse incliner d'une quantité assez grande pour que la boule vienne toucher la pièce de contact (33° environ), l'explosion a lieu.

Le courant, qui se trouve fermé en A et dans la torpille, passe par la branche d'amorce et en détermine l'inflammation.

Épreuves. Pour faire les épreuves avec la pile à eau, il suffit, sans rompre le circuit d'inflammation, de promener le système R (fig. 184) successivement sur chacune des lames métalliques *c*, *c*..., de façon que les deux crayons H, H soient en même temps en contact avec la même lame. Si à ce moment le galvanomètre dévie, c'est qu'il y a un courant dérivé dû à la communication du conducteur que l'on vérifie avec la terre ou la mer par dénudation, ou encore dû à un contact de la plaque *u* avec la cuvette Q. Dans le premier cas l'explosion ne saurait avoir lieu ; dans le second elle se produirait, au contraire, dès la mise en jeu de la pile du poste.

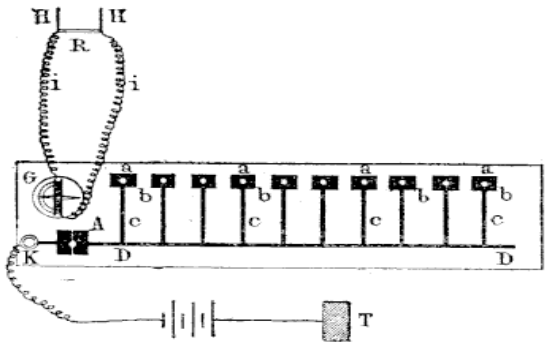


Fig. 184.

§ 759. **Torpilles vigilantes automatiques-électriques.** — Ces torpilles ne diffèrent des précédentes que par la disposition du circuit. Elles explosent dès qu'elles sont choquées et indépendamment de la volonté du personnel chargé de la défense. Elles servent, par conséquent, si l'on veut barrer complètement un chenal que l'on ne peut surveiller, ou empêcher les bâtiments ennemis de s'établir sur telle partie d'une rade ou d'une côte peu défendue, où leur présence pourrait être préjudiciable à l'ensemble des opérations de la défense.

Pour les torpilles automatiques-électriques, la pile, au lieu de se trouver à terre, est placée dans le crapaud même, et est toujours en communication avec l'amorçage. Au lieu d'employer pour leur mouillage des crapauds massifs de 500 et 145^{kg}, on se sert de crapauds ayant à peu près le même poids, mais pouvant renfermer les quatre couples de la pile à l'abri de l'humidité.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les crapauds (Pl. XXVII, fig. 6) sont à large base A concave par-dessous. Au-dessus de la base est une caisse cylindrique B servant à loger la pile ; l'intérieur est divisé en quatre compartiments destinés à cet usage ; cette caisse se ferme par un couvercle C, et le joint se fait au moyen d'une rondelle de plomb enduite de minium et de céruse. Au centre du couvercle se trouve un bouchon D servant au passage étanche d'un câble d'amorce, au moyen de rondelles en caoutchouc *n*. Ce câble porte deux conducteurs : l'un d'eux va rejoindre la torpille, en passant à travers le bouchon d'amorce placé à la partie inférieure de celle-ci ; l'autre conducteur, qui est en communication avec le pôle positif de la pile, porte une plaque de terre.

La pile se compose de quatre éléments Leclanché à aggloméré.

§ 760. **Torpilles dormantes devenant vigilantes.** — Le ferme-circuit à boule, que nous avons décrit précédemment, peut être employé à l'inflammation des torpilles dormantes.

Supposons, en effet, que sur la carcasse d'une torpille dormante *m* on vienne fixer par un orin une bouée en liège *l* maintenant un ferme-circuit à une immersion convenable. Avec la disposition de la figure 185, si une pile télégraphique et une

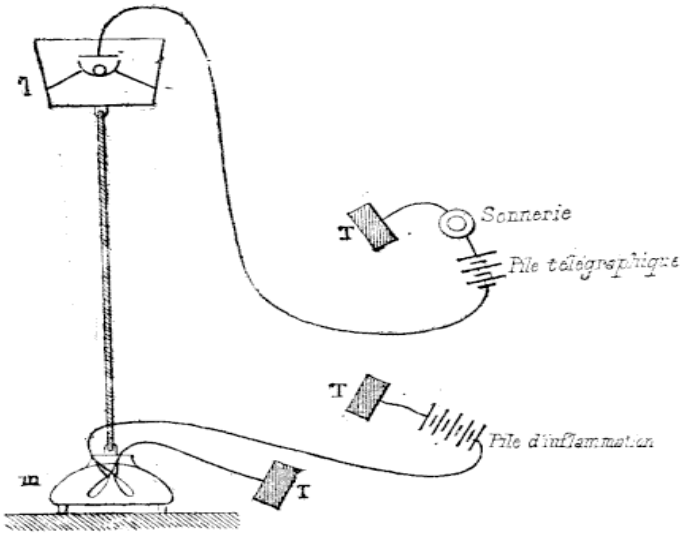


Fig. 185.

sonnerie sont placées au poste de veille dans un circuit particulier, dès qu'un bâtiment rencontrera la bouée en liège, le circuit

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

se fermera, et l'observateur sera prévenu par la sonnerie qu'un bâtiment est au-dessus de la torpille ; il pourra donc la mettre en feu à son gré.

Si, au contraire, le ferme-circuit est placé dans le circuit même

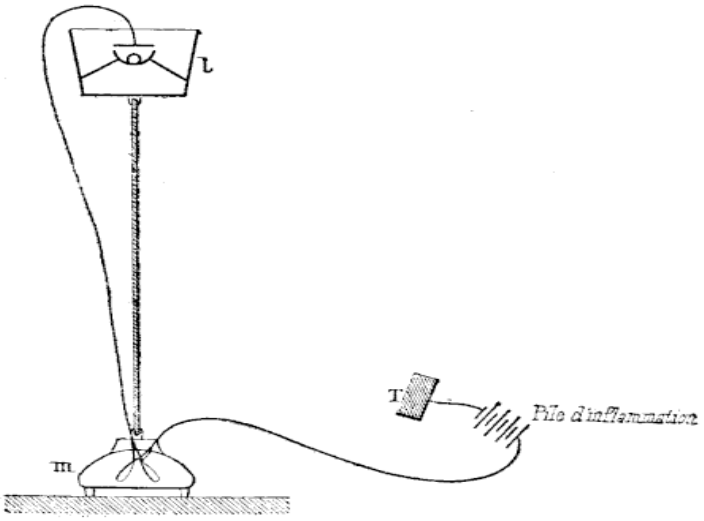


Fig. 186.

de la torpille dormante (fig. 186), celle-ci deviendra électro-automatique, et explosera quand un bâtiment en choquant la bouée provoquera la fermeture du circuit.

On pourrait établir une ligne de torpilles dormantes du type figure 185, commandées par un seul observatoire ; aucune disposition de ce genre n'est réglementaire en France.

§ 761. **Sensibilité des torpilles vigilantes.** — Des expériences entreprises avec un bâtiment de faible tirant d'eau ont fait constater que toutes les fois que le choc était donné par une partie de l'avant autre que l'étrave, la torpille n'était pas renversée, mais légèrement déviée ; qu'elle glissait ensuite le long de la carène sans s'écarter beaucoup de sa position verticale, à moins d'être obligée de passer en dessous du bâtiment. Les griffes aiguës dont on a essayé de garnir leur pourtour ne rendent pas les torpilles beaucoup plus sensibles au choc. Mais en disposant quelques kilogrammes de plomb sur la tête de la torpille, les chocs ont été plus efficaces. La quantité de plomb à mettre sur la torpille dépend complètement des circonstances locales.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les torpilles vigilantes ont l'inconvénient commun d'avoir une valeur offensive intermittente variant avec la marée. Si celle-ci est forte, une épave peut les faire exploser; elles sont en outre éminemment exposées au dragage de l'ennemi.

Les torpilles automatiques-électriques sont d'un mouillage difficile; et une fois en place, on ne peut plus les relever sans danger; il faut les mettre en feu pour s'en débarrasser. Elles ont une sensibilité insuffisante. Ainsi, avec une vitesse filant de trois à cinq nœuds, sur vingt chocs, on a eu trois explosions. On peut, il est vrai, augmenter la sensibilité en ajoutant une surcharge de 4^{kg} sur leur tête ; mais on diminue ainsi la garantie contre l'explosion d'une torpille voisine à 20 mètres.

Tous les ferme-circuits à organes intérieurs expérimentés jusqu'à présent sont sensibles à la commotion produite par l'explosion voisine. Celle-ci imprimerait sans doute un brusque mouvement de bas en haut et de haut en bas si la torpille était libre; mais l'amarre intervient, et détermine un mouvement de tournoiement et de bascule de courte durée.

§ 762. **Brise-circuits. Relais.** — Pour éviter l'inconvénient si grave de la commotion résultant d'une explosion voisine, on s'est beaucoup servi autrefois de *brise-circuits*. Ces appareils avaient pour fonction d'interrompre brusquement le circuit de toutes les torpilles d'un groupe quand l'une d'elles était mise en feu ; l'explosion pouvait encore établir le contact à l'intérieur des torpilles voisines, mais déjà elles avaient été automatiquement isolées de la pile d'inflammation. Une foule d'appareils basés sur ce principe ont été imaginés; mais tous présentent l'inconvénient d'être très délicats, et leur fonctionnement est fort irrégulier.

Le problème a été résolu d'une autre façon par les *relais*. Une pile, dite auxiliaire, était mise en communication permanente avec les circuits de toutes les torpilles; quand un ferme-circuit était actionné, le courant de la pile auxiliaire déterminait le fonctionnement d'un relai qui lançait dans ce circuit fermé le courant de la pile d'inflammation. Ces instruments apportaient une complication très grande dans la table de manipulation, et leur fonctionnement n'était pas assuré.

Les ferme-circuits ont été l'objet d'inventions très nombreuses. Citons les appareils d'Ebner, d'Abel, l'interrupteur Mathieson.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le disconnecteur Mathieson. C'est à la suite des essais infructueux faits sur ces appareils, que l'on s'arrêta, en France, au ferme-circuit réglementaire, qui n'est pas parfait, mais qui présente l'avantage d'être solide et simple.

§ 763. **Torpilles automatiques.** — Ces torpilles, qui ne sont pas réglementaires en France, comportent, d'une manière générale, un récipient contenant une charge suffisante pour agir au contact; on y adapte des fusées chimiques ou mécaniques, comme celles que nous avons décrites ; on y ajoute un appareil de sûreté qu'on retire dès que le mouillage est terminé.

Les Danois ont employé des dames-jeanne en verre, renfermées dans des boîtes en bois, et amarrées à des pierres servant de crapauds.

Les Américains avaient des barils en bois, enduits soigneusement de brai à l'intérieur, de goudron à l'extérieur; un cône en bois fixé à chaque extrémité servait à renforcer le baril et augmentait la flottabilité ; il diminuait, en outre, la résistance au courant en orientant l'appareil. Une élingue en filin le reliait aux chaînes de mouillage ; enfin cinq fusées Rains (§ 730) étaient fixées à la partie supérieure du baril. Ces torpilles simples, peu coûteuses, faciles à installer ont été très efficaces. Elles méritent de fixer l'attention. Les dangers de manipulation qu'elles présentaient, prouvés par de nombreux accidents, leur ont fait préférer, en France, les torpilles automatiques-électriques.

AUTRES COMBINAISONS POUR LA DÉFENSE DES PASSES ATTAQUE DE CELLES-CI

§ 764. **Disposition des torpilles dormantes par groupes.** — A l'étranger, pour défendre les passes, on emploie quelquefois une disposition de torpilles dormantes *par groupes*. Toutes les torpilles d'un groupe sont reliées à un même conducteur, aboutissant à l'appareil d'inflammation ; elles explosent donc toutes ensemble quand un courant convenable parcourt le conducteur. Avec cette disposition, on ne compte que sur l'effet vertical des charges, qui, dès lors, sont relativement faibles. Les torpilles sont assez rapprochées les unes

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

des autres pour qu'un bâtiment, s'engageant dans la zone qu'elles défendent, se trouve nécessairement sur la verticale passant par le centre de l'une d'elles. L'appréciation du moment où un navire y pénètre n'a plus besoin d'être très exacte.

§ 765. **Chapelets de torpilles flottantes.** — Ces *chapelets*, qui constituent une combinaison particulière de la disposition

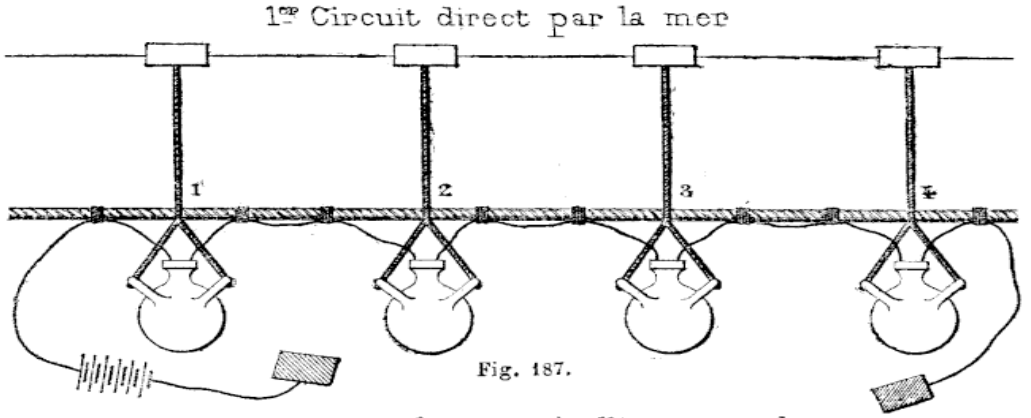


Fig. 187.

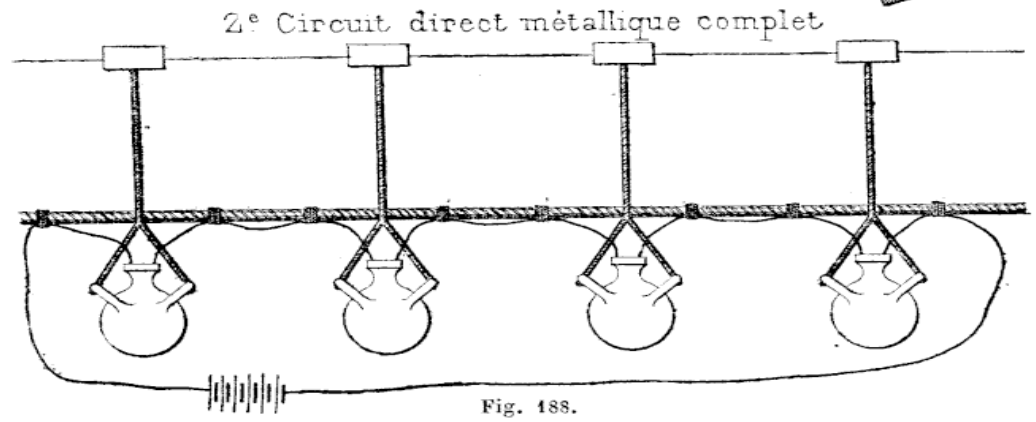


Fig. 188.

précédente, consistent en une série de torpilles de contact, reliées par une corde qui leur permet d'être déplacées toutes à la fois sans perdre leur position relative dans l'eau. Elles sont disposées à une distance de 10m entre elles ; chaque torpille porte un orin de 3m de longueur dont l'autre extrémité reçoit une petite bouée suffisante pour la soutenir sur l'eau. Leurs amorçages peuvent être installés conformément aux indications du § 737 : 1° en circuit direct par la mer (fig. 187) ; 2° en circuit direct métallique complet (fig. 188) ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3° en circuit dérivé par la mer (fig. 189); 4° en circuit dérivé métallique complet (fig. 190). Pour leur inflammation, il faut une pile puissante. Cette pile est, bien entendu, à terre ou à bord d'un bâtiment ou d'un canot ; et c'est ainsi que doit être comprise la pile dessinée sur chacune des figures en question.

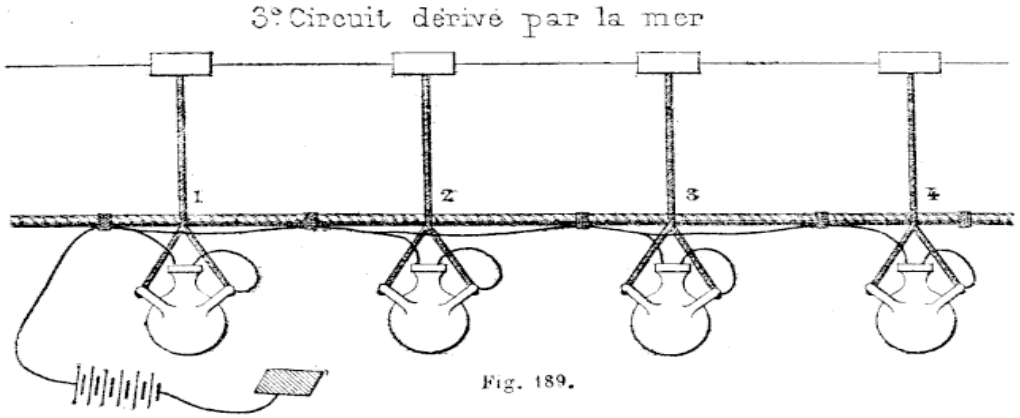


Fig. 189.

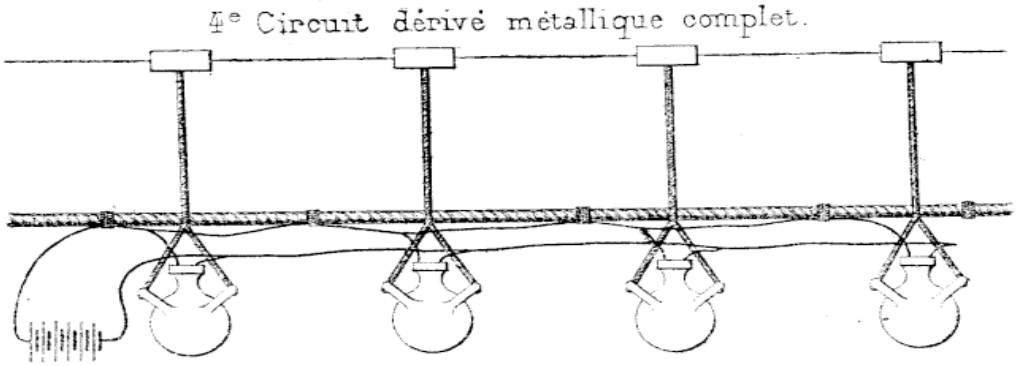


Fig. 190.

La charge des torpilles flottantes en chapelet est analogue à celle des torpilles portées que nous examinerons plus tard. Les chapelets, pour défendre une passe étroite, offrent ce grand avantage de pouvoir aisément être changés de place, de façon à déjouer les calculs d'un ennemi qui serait renseigné sur leur emplacement de la veille. Les bâtiments peuvent en faire usage pour se protéger au mouillage, pour enfermer un ennemi dans une rade. On a proposé de s'en servir pour enlacer un bâtiment en faisant remorquer le chapelet par deux canots ou même en abandonnant l'appareil au courant. Ces engins sont faciles à mouiller ; on pos-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sède à bord tout ce qui est nécessaire à leur confection ; il est donc probable que, dans certaines circonstances de guerre, ils présenteront une ressource précieuse à laquelle on aura recours.

§ 766. **Torpilles dérivantes.** — On nomme *dérivantes* des torpilles destinées à être abandonnées à la dérive, comme les chapelets dont nous venons de parler ; ce sont des engins que le courant doit transporter au contact d'un navire au mouillage, ou que l'on sème pour qu'ils soient rencontrés par un vaisseau en marche ; celles-ci se nomment encore *torpilles de sillage* quand un navire chassé les emploie pour détruire celui qui le poursuit. Si, dans le même but, elles sont conservées à la traîne derrière le vaisseau chassé, on les appelle torpilles *de traîne*.

Les torpilles abandonnées dans le sillage doivent perdre toute efficacité au bout d'un quart d'heure, afin de ne pas créer d'obstacle permanent à la navigation. Beaucoup de systèmes ont été imaginés pour atteindre ce but ; mais aucun n'a donné de résultats décisifs.

§ 767. **Attaque d'une passe.** — Pour cette attaque, on peut se trouver en présence d'obstructions mobiles faites de drômes reliées par des chaînes ; mais l'expérience a prouvé que ce système est facilement destructible.

D'ailleurs, de tous les autres engins de défense dont nous venons de parler aucun n'est sans défaut ; et une passe barrée par des torpilles n'est pas infranchissable. Toutes les torpilles mouillées entre deux eaux, celles qui sont tenues sur une seule amarre surtout, sont désavantageuses au point de vue de la tenue sur le fond et de l'immersion favorable. Il est facile de les draguer ; et, en général, en faisant éclater une certaine charge de poudre dans leur voisinage, on déterminera leur explosion.

Pour débarrasser une passe de ses défenses sous-marines, on peut, avec deux canots remorquant une corde lestée en son milieu, arriver à faire sauter les torpilles que l'on rencontre. On peut aussi, d'après le major Stotherd, se servir de deux boulets reliés entre eux et aux canots par des chaînes ; ou bien faire dériver à travers la passe des radeaux supportant des espars lestés et des grappins pour faire éclater les torpilles automatiques, les draguer, couper les fils conducteurs, etc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le dragage des torpilles de fond est moins simple ; pour les désemparer, il sera nécessaire de faire éclater sur leur lieu de mouillage soit des torpilles lancées, soit de fortes charges de fulmicoton suspendues à des drômes en dérive, ou bien il faudra chercher à couper les fils conducteurs.

Le meilleur moyen de paralyser les torpilles électriques est, en somme, de débarquer des hommes et d'aller à la recherche des fils, pour les couper à l'attérage et s'emparer des observatoires. Des torpilles ne peuvent donc créer un obstacle sérieux que si les observatoires et les lieux où les fils sont mouillés sont à proximité d'un fort capable de résister aux tentatives de l'ennemi.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

7E PIE. — CHAPITRE III

TORPILLES MOBILES

TORPILLES PORTÉES

§ 768. **Généralités.** — Les torpilles portées sont destinées à l'armement des canots, des chaloupes à vapeur et des bateaux-torpilleurs porte-torpilles. Elles doivent être mises en feu au contact ou très près de l'obstacle à détruire ; dans ce but, elles sont emmanchées au bout d'un espar, appelé *hampe*, qui leur permet d'accoster l'ennemi, tout en les maintenant à une distance suffisante du bateau opérateur.

Les dispositions données à cet engin doivent : 1° garantir la destruction de l'obstacle ; 2° offrir une assez grande sécurité pour les assaillants.

Nous avons vu qu'au contact, une charge de 10kg de fulmicoton suffit pour endommager gravement n'importe quelle carène, et qu'à 1m de distance, 15kg de poudre brisante assurent la destruction du navire. Il est cependant nécessaire que la torpille soit placée à une certaine immersion créant un bourrage en rapport inverse avec la force explosive de la substance employée ; cette immersion doit être de 2m,50 pour 25kg de poudre noire. Elle pourrait être moindre pour le fulmicoton sans compromettre l'effet destructeur. Cette immersion a également pour but d'arrêter les débris de la torpille (boulons, fourche, écrous, etc.), et elle acquiert ainsi une grande importance pour préserver les hommes des canots assaillants.

La sécurité de ceux-ci exige encore entre le canot et la torpille, placée à son poste de combat, une certaine distance horizontale

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

capable d'empêcher l'explosion de rompre les rivets ou de disjoindre les coutures à un degré compromettant. La coque d'une embarcation résiste mieux à cette commotion par ses extrémités que par son travers ; c'est donc sur l'avant de l'étrave que la hampe projette la torpille à son poste d'attaque.

Suivant la direction du vent, la vitesse du canot et la valeur de la charge, la détonation peut projeter à bord une quantité d'eau plus ou moins considérable ; afin d'éviter cet accident compromettant pour le canot et ses feux, la chaudière et l'avant doivent être protégés par une teugue. Une série d'expériences ont prouvé qu'il n'y avait pas d'inconvénients à faire détoner une charge de 25^{kg} de fulmicoton à 7^{m} de l'étrave, et que les secousses ressenties à bord étaient peu différentes pour des vitesses de 6 à 14 nœuds.

Il est nécessaire que le canot soit construit de manière à protéger le personnel, et à mettre la machine à l'abri des projectiles ; il doit être rapide et évoluer avec facilité. La torpille à son poste d'attaque étant un obstacle à l'évolution, on doit la garder le plus longtemps possible à son poste de navigation.

Il faut, en outre, que le canot soit peu visible et silencieux. Enfin, suivant la forme de la partie abordée, la torpille peut ne pas arriver au contact ; il est donc nécessaire d'adopter un double système d'inflammation, par le *choc* ou *à volonté*, qui puisse assurer le résultat de l'explosion dans les deux cas.

TORPILLE PORTÉE MODÈLE ANCIEN

§ 769. **Description de la torpille.** — Cette torpille, qui se charge à la poudre noire, se rencontre encore.

Elle est en cuivre rouge (Pl. XXVIII, fig. 1) ; elle a la forme d'un cylindre C, se terminant par une partie en ogive O. Elle est munie de cercles c, c, qui au moyen de brides servent à la fixer à la fourche de la hampe. Le trou de charge C′ se trouve à la base ; la porte de charge est une plaque circulaire en cuivre fixée au moyen des boulons b, b'. Une rondelle en caoutchouc X sert à rendre le joint étanche. Le trou d'amorce A est au centre de la porte de charge ; il est entouré d'un cylindre formant tubulure, qui se ferme au moyen d'un bouchon en caoutchouc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'inflammateur I se visse dans une bague taraudée *m*, qui lui sert de logement. Le fil *f* de l'amorçage traverse le bouchon arrière *n*, une rondelle en fer et deux rondelles en caoutchouc destinées à rendre étanche la partie postérieure de l'inflammateur. Le conducteur pénètre ensuite dans un cylindre creux *o*, en ébonite qui renferme la plaque de contact et un ressort à boudin. A la partie antérieure de la torpille se trouve la tige T destinée à recevoir le choc et à fermer le circuit ; elle traverse un presse-étoupe P, qui rend étanche sa pénétration. La course de la tige est limitée par une rondelle d'arrêt fixée au moyen d'une goupille *x*. Un ressort à boudin R, dit ressort *de rappel*, entoure la tige et la maintient à une certaine distance de la plaque de contact. Les chocs sont transmis à la tige par trois leviers, l'un nommé levier droit *k*, les autres appelés leviers de côté.

Le jeu de l'appareil est le suivant. Quand un choc s'exerce sur la torpille, l'un des leviers le transmet à la tige T, qui est forcée de rentrer en comprimant le ressort de rappel R, et qui vient toucher la plaque de contact fixée au bout du ressort à boudin.

§ 770. **Amorçage et chargement.** — L'amorçage est formé de deux amorces *a*, *a'*, que l'on réunit en circuit dérivé, et qu'on fixe sur une planchette Q ; puis à l'un des points *y* de la dérivation on rattache un fil *p''* de l'espèce dite *fil de sonnerie* (§ 800) ; et on complète le parcours du courant par un fil de retour *p'* de l'espèce dite *fil d'amorce*, qui va au pôle négatif de la pile.

Pour opérer le chargement, on passe un bout de fil d'amorce *f* dans le trou central du bouchon arrière *n* de l'inflammateur, et l'on soude l'extrémité dénudée sur la rondelle métallique qui porte le ressort à boudin et la plaque de contact. On monte ensuite la tige de choc et son presse-étoupe, et l'on visse l'inflammateur à son poste.

Enfin, la torpille étant disposée avec la porte de charge en-dessus, on joint le fil d'amorce *f* à la branche d'amorce *p* ; et l'on procède aux épreuves d'isolement et de conductibilité en pressant sur l'inflammateur.

Enfin, on introduit le chargement.

§ 771. **Circuit pour l'inflammation à volonté.** — Supposons le fil *p'* placé au pôle négatif d'une pile ; au moment

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

où l'on mettra l'extrémité S′ du conducteur p'' en communication avec le pôle positif, l'explosion aura lieu. Le courant, en effet, partant de S′, traverse le fil de sonnerie p'', les deux amorces a, a', et revient par p' au pôle négatif de la pile. Le circuit est fermé.

D'ailleurs le courant ne peut passer par la branche d'amorce p, puisque son extrémité est isolée en o.

§ 772. **Circuit pour l'inflammation électro-automatique.** — Supposons maintenant le conducteur p' en communication avec le pôle négatif de la pile, le conducteur p'' étant détaché de celle-ci. Plaçons au pôle positif de la pile une plaque de terre ; si la torpille éprouve un choc tel que la tige T vienne toucher la plaque de contact, l'explosion aura lieu. En effet, le circuit sera en communication avec la mer par la carcasse de la torpille, qui remplit le rôle de plaque de terre positive ; et le courant passera par la tige T, le fil f, les amorces et le conducteur de retour p'. Le circuit étant fermé, on obtiendra ainsi l'explosion dite par le *choc*.

Nous verrons plus tard (§ 783) comment on réalise pratiquement au moyen d'un *conjoncteur* une disposition qui permet d'obtenir l'inflammation à volonté ou par le choc.

TORPILLE PORTÉE MODÈLE RÉCENT

§ 773. — La torpille d'ancien modèle que nous venons de décrire présentait plusieurs défauts ; en particulier, l'inflammateur laissait à désirer au point de vue de l'étanchéité. Aujourd'hui, dans les principales marines les torpilles portées se chargent au fulmicoton.

La torpille présente alors cinq parties : la carcasse, le tube d'amorce, l'inflammateur, la proue et la poupe.

§ 774. **Carcasse.** — La carcasse (Pl. XXVIII, fig. 2) comprend le fond, le cylindre de charge et la porte de charge. Le fond B en laiton de 4^{mm} d'épaisseur est soudé à demeure sur le cylindre de charge A ; il porte vers l'arrière la poupe n en bois fixée au moyen de vis à bois. Extérieurement, se trouvent deux douilles rectangulaires g, g pour emmancher la torpille sur sa fourche.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le fond est muni, en outre, à son centre d'une tubulure cylindrique B′ B′ servant de trou d'amorce. Le cylindre de charge, en laiton de $1^{mm},5$ d'épaisseur, a 250^{mm} de diamètre intérieur, et 235^{mm} de hauteur. Il est soudé par sa partie antérieure à une ceinture en bronze L, munie de deux douilles d'emmanchement *f*, *f*, correspondant à celles du fond.

La porte de charge C, circulaire, en bronze de 4 à 5^{mm} d'épaisseur, vient s'emboîter sur le rebord saillant *g* du siège, et comprime un cordon de caoutchouc E appliqué à ce rebord dans la gouttière du siège. Cette compression est obtenue au moyen d'une bague filetée F, vissée sur la ceinture L et servant d'écrou.

Au centre est pratiqué un orifice circulaire de 54^{mm} de diamètre, destiné au passage de l'extrémité G du tube d'amorce D. Celui-ci vient buter contre la porte C par un épaulement ; et, de l'autre côté de la porte, il est fixé d'une manière étanche par la rondelle en caoutchouc H, par une bague à ergot et un écrou *x*. Le tube d'amorce est, en outre, tenu à frottement par son extrémité opposée dans la tubulure du trou d'amorce B′, et occupe ainsi une position invariable dans l'axe de la torpille. L'orifice postérieur du tube D et le trou d'amorce sont fermés par un même bouchon-caoutchouc que traversent les conducteurs *c*, *c′* de l'amorce. Dans ce but, le bouchon comporte une épaisse rondelle de caoutchouc *m*, exactement centrée mais de deux diamètres : le plus petit entrant dans le tube d'amorce, le plus gros dans la tubulure B′.

§ 775. **Inflammateur**. — L'inflammateur (vue 2) est fixé à l'extrémité antérieure G du tube d'amorce par l'écrou M, qui comprime un cordon en caoutchouc pour rendre la jonction étanche. Il est fermé à sa partie externe par un diaphragme en caoutchouc souple N, retenu contre cette partie par une bague plate et quatre vis.

Il porte à l'intérieur un contact mobile Q en bronze étamé ayant extérieurement la forme d'un chapeau. Cette pièce reçoit la pression d'un ressort antagoniste en cuivre U ayant une force élastique de 14^{kg} ; elle porte l'aiguille de contact destinée à fermer le circuit. Le ressort est maintenu par un manchon fileté T, qui constitue la partie arrière de l'inflammateur ; ce manchon taraudé reçoit un bouchon d'ébonite *s*. Le contact fixe R est une vis en bronze étamé à laquelle le bouchon d'ébonite sert d'écrou. Sa tête cylindrique,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

placée concentriquement au manchon, est creusée en forme de godet. C'est dans cette cavité que vient se loger l'aiguille du contact mobile quand le circuit se ferme. La tige filetée du contact fait saillie en arrière du bouchon d'ébonite, et reçoit un écrou à molette V, pour saisir l'extrémité dénudée de la branche *A'* de l'amorce.

§ 776. **Proue et poupe**. — La proue, de forme ogivale, est placée à l'avant de la carcasse ; elle sert à amoindrir la résistance de l'eau sur la torpille, et surtout à porter les organes qui transmettent le choc au contact mobile de l'inflammateur.

Elle comprend la tige de choc X portant par un épaulement sur un ressort antagoniste *y*, logé dans un tube *z* retenu extérieurement par le renfort hexagonal *j*. Ce ressort est d'une force élastique de 6^{kg} environ. Le tube du ressort est soutenu à sa partie antérieure par un massif de bronze rapporté J. L'extrémité arrière de la tige de choc est munie d'un écrou à gorge S, commandant trois leviers de choc *c*, *c*, *c*, au moyen de tenons engagés dans la gorge de l'écrou. Les mouvements de la tige de choc sont ainsi rendus solidaires de ceux des leviers. L'extrémité filetée de la tige est destinée à presser le diaphragme N, quand la tige rentre malgré le ressort *y*, et à fermer le circuit de l'inflammateur si le choc suffit à vaincre, en outre, la tension du ressort antagoniste *u* du contact mobile.

La poupe *n*, en bois léger, est munie d'un évidement intérieur pour la saillie du bouchon-caoutchouc B' et d'un trou latéral pour la sortie des conducteurs.

Le poids de la torpille vide est de 25^{kg}.

§ 777. **Torpille portée, autre modèle récent**. — Ce type ne diffère du précédent que par la longueur du cylindre de charge ; en outre, les douilles d'emmanchement antérieures *f*, *f* sont rapportées au lieu de faire corps avec la ceinture filetée. Son poids est de 28^{kg} vide.

§ 778. **Charge-amorce et amorçage**. — La torpille étant chargée de fulmicoton humide ne peut exploser qu'au moyen d'une charge-amorce de fulmicoton sec ; celle-ci est constituée par quatre cylindres d'amorce pour les torpilles du premier modèle et par six cylindres pour les torpilles du second

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

modèle. Dans l'intérieur de ces cylindres viennent se loger deux amorces y, y' en circuit dérivé. Une des branches c de l'amorçage traverse le bouchon-caoutchouc, l'autre branche c'' est fixée en V au moyen de l'écrou de l'inflammateur. A la jonction r s'adapte un fil de sonnerie c' (§ 800), qui sort du tube d'amorce par le bouchon-caoutchouc, et sert de fil de retour allant aboutir au pôle négatif de la pile.

§ 779. **Chargement de la torpille. Montage.** — Tout étant préalablement démonté, on introduit le tube d'amorce dans le trou d'amorce vide. On met alors dans la carcasse, en les capelant sur le tube d'amorce, cinq galettes de $2^{kg},538$ de fulmicoton composant la charge humide (si c'est une torpille du second modèle, il y a huit galettes). Ces galettes sont les mêmes que pour les torpilles vigilantes. On emboîte la porte de charge ; puis on fixe le tube d'amorce au moyen de l'écrou x et des rondelles qui servent à rendre la jonction étanche. La carcasse ainsi chargée pourrait se conserver longtemps sans danger.

On introduit alors dans le tube d'amorce les cylindres de fulmicoton sec formant la charge-amorce, dans l'intérieur desquels se trouvent les amorces. On passe dans les trous du bouchon-caoutchouc les fils c et c'.

Les diverses pièces de l'inflammateur auront rarement besoin d'être démontées ; mais on doit avant de mettre le système en place s'assurer de son bon fonctionnement par une épreuve d'isolement et une épreuve de conductibilité en pressant sur le contact mobile.

Le jeu de l'inflammateur étant vérifié, on fixe la branche avant de l'amorçage c'' sous l'écrou à molette V. On emboîte alors l'inflammateur sur son siège ; on capelle le cordon en caoutchouc que l'écrou M à six pans comprime de façon à assurer l'étanchéité de la partie postérieure de l'inflammateur ; enfin on met la proue et la poupe en place.

§ 780. **Épreuves.** — Le montage étant terminé, on fait les épreuves suivantes :

1° *Épreuve d'isolement.* Un des conducteurs sortant de la torpille est placé au pôle (+) de l'appareil d'essai à trois bornes. On met la borne (G) en communication par un fil auxiliaire avec une partie décapée du métal de la torpille ; l'aiguille du galvanomètre ne doit pas dévier.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° *Épreuve de conductibilité*. Rien n'étant changé dans les dispositions précédentes, on presse la tige de l'inflammateur de manière à établir le contact intérieur ; le galvanomètre doit dévier.

§ 781. **Pile**. — La pile actuellement en service à bord des bâtiments est celle de Leclanché, modèle 1878. Elle sera remplacée désormais par la pile à aggloméré (M^le^ 1880).

La pile, dans l'une ou l'autre disposition, se compose de huit éléments, qui sont renfermés dans une boîte munie d'un couvercle à charnière ; elle a été décrite § 626 ; nous ne parlerons maintenant que du conjoncteur.

§ 782. **Conjoncteur**. — Sur la face avant de la boîte à pile se trouve vissée une plaque en ébonite E (fig. 191) portant trois

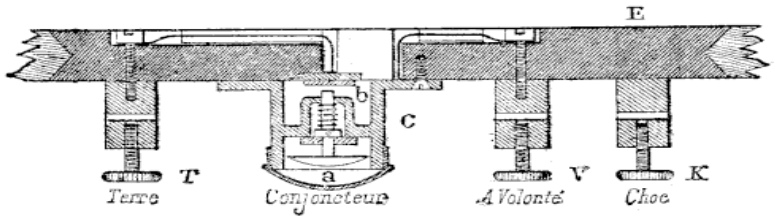


Fig. 191.

bornes marquées : *terre* T, *à volonté* V, *choc* K, et un conjoncteur C placé entre les bornes T et V.

Le pôle positif de la pile est relié à la borne T communiquant avec la terre ; le pôle négatif est attaché à K. T est de plus en communication avec le contact platiné du conjoncteur. Celui-ci et sa douille sont reliés à la borne V. Il résulte de là qu'en pressant le conjoncteur en *a*, de manière à le faire appuyer sur le contact *b*, on met la borne V en communication avec T et, par conséquent, avec le pôle positif de la pile.

§ 783. **Disposition théorique du circuit des torpilles portées.** — Le conjoncteur ayant la disposition ci-dessus, plaçons à la borne K (fig. 192) la branche arrière *c'* de l'amorçage sortant de la torpille ; fixons le conducteur *c* à la borne V, et relions la borne T à une plaque de terre.

Si la torpille rencontre un obstacle, le choc s'exerce sur la tige A, qui s'enfonce et vient en contact avec M. La carcasse

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

faisant office de plaque de terre, le courant traverse les amorces et arrive par c' à la borne *choc*, qui est en communication avec le pôle négatif de la pile. Le pôle positif est relié à la terre ; le circuit est donc fermé.

Si, le choc n'ayant pas eu lieu, la torpille se trouve cependant

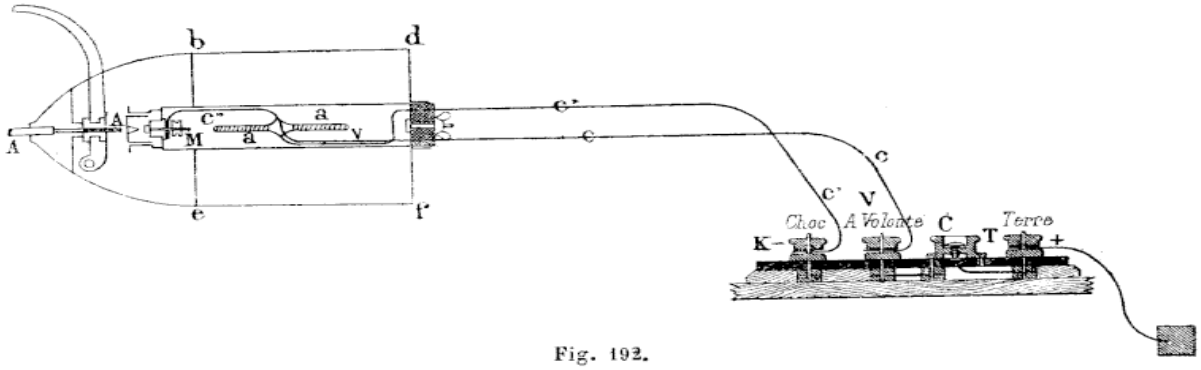


Fig. 192.

très près de l'obstacle à détruire, l'opérateur presse le commutateur C, et l'explosion se produit. Car le courant, partant du pôle positif de la pile, arrive alors au commutateur C et à la borne V ; puis il parcourt le conducteur c, les amorces, et revient par c' à la borne K, c'est-à-dire au pôle négatif de la pile.

CANOTS PORTE-TORPILLES

§ 784. **Canots porte-torpilles à rames.** — Ces canots à rames comportent un appareil spécial.

Il se compose essentiellement d'une hampe en bois AB (fig. 193)

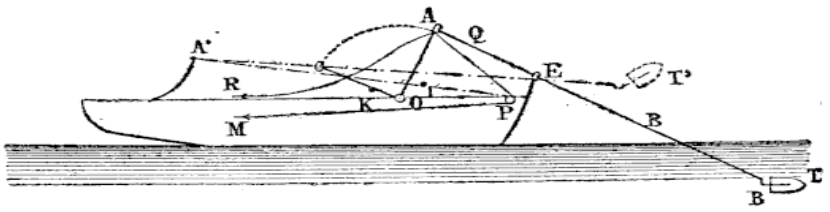


Fig. 193.

au bout de laquelle est emmanchée la torpille T. Cette hampe traverse deux blins fixés, l'un en E sur l'étrave, l'autre à l'extrémité Q d'un mâtereau mobile autour de l'axe O. Deux cartahus

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

frappés sur sa queue en forme de caisse permettent de la pousser à son poste d'attaque ou de la rentrer. Si l'on raidit le cartahu de manœuvre APM, l'espar glisse sur les galets de ses blins jusqu'à ce

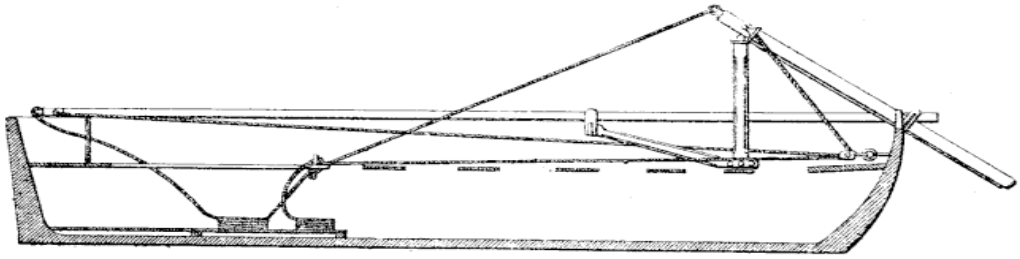


Fig. 194.

que sa caisse atteigne le blin du mâtereau. Celui-ci, entraîné par sa tête, tourne et s'arrête quand il rencontre son butoir avant I. La hampe est alors inclinée convenablement pour donner à la torpille son poste d'attaque, et se trouve assurée dans cette position par le blin de l'étrave et par la tension du cartahu de manœuvre. Si on largue celui-ci et qu'on hâle sur le cartahu de retenue RA, la hampe rabat le mâtereau sur son butoir arrière K, et rentre en dedans de son poste de navigation.

La figure 194 montre une coupe faite dans un canot porte-torpilles à rames.

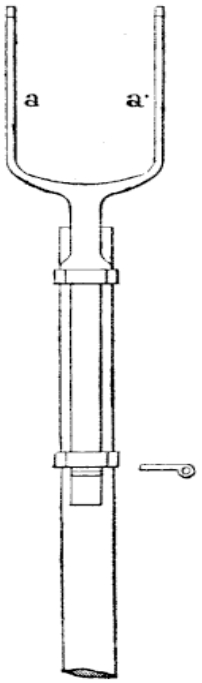


Fig. 195.

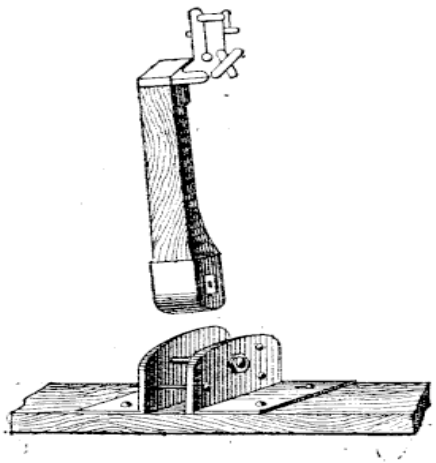


Fig. 196.

La figure 195 représente la fourche qui se trouve à l'extrémité de la hampe, et qui sert à fixer la torpille par les branches a, a' s'engageant dans les douilles f, g. (Planche XXVIII, fig. 2).

La figure 196 donne les détails de construction du mâtereau et la manière dont il est articulé à sa partie inférieure.

La figure 197 montre les blins qui servent à guider la hampe

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

lorsqu'on l'amène à son poste de combat, ou qu'on la rentre à son poste de navigation.

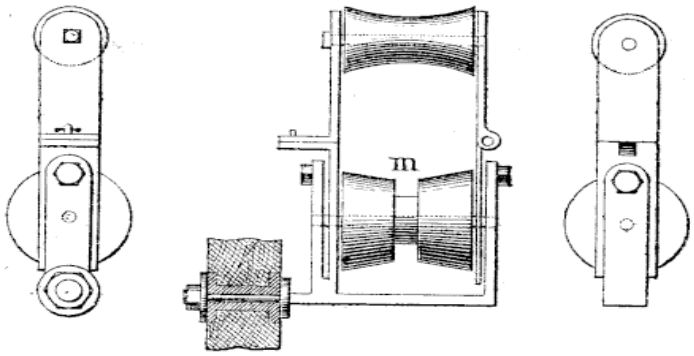


Fig. 197.

Installation des conducteurs. — Nous avons vu que la branche arrière de l'amorçage, d'une part, et un bout de fil de sonnerie, d'autre part, sortent de la torpille à travers le bouchon-caoutchouc, lorsque tout le système est monté. Il faut encore, quand la torpille est fixée à l'extrémité de la hampe, la relier électriquement avec la pile qui se trouve dans la chambre de l'embarcation. Dans ce but, on vient joindre sur la branche d'amorce sortant de la torpille un fil de sonnerie ayant une longueur suffisante pour aller de la torpille à l'extrémité de la hampe. Sur le fil de sonnerie sortant de la torpille on rattache un bout de conducteur de l'espèce dite *câble militaire* (§ 800).

Hampe. — La hampe est en bois de sapin; elle porte cloué à sa partie inférieure un liteau de chêne dont la section est quadrangulaire, et qui sert à la guider à travers les blins. A quelques centimètres de sa partie supérieure, la hampe est creusée sur toute sa longueur d'une rainure dans laquelle se logent les deux conducteurs électriques venant de la torpille. Ils y sont maintenus par des cavaliers placés de distance en distance.

On soude chaque fil de la hampe sur le fil *semblable* de la torpille, et l'on recouvre la soudure par un isolement de fortune.

§ 785. **Canots à vapeur porte-torpilles.** — L'appareil porte-torpilles des canots à vapeur se compose des éléments suivants (Pl. XXVIII, fig. 3):

1° Une hampe H en bois et métal destinée à porter les torpilles à 7^m de distance à l'avant de l'étrave et à $2^m,50$ d'immersion;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° Un rouleau d'étrave R formant support avant de la hampe;

3° Deux filières directrices F, F, entre lesquelles on peut faire glisser l'arrière de la hampe soutenue par un chariot à galets, pour l'amener de la position de repos à la position d'attaque et inversement.

La hampe est poussée à son poste d'attaque au moyen d'un cartahu de manœuvre faisant retour à l'avant de l'embarcation et se manœuvrant de la chambre arrière. Un petit treuil T sert à la rentrer à bord.

L'appareil est abrité à l'avant par une toiture démontable T′ en tôle et cornières, qui forme teugue et se prolonge jusqu'à la cheminée.

Hampes. — Il existe deux sortes de hampes : la hampe de combat et celle d'exercice.

1° La *hampe de combat* (vue 3) a $5^{m},60$ de longueur ; elle est en bois, recouverte d'un manchon de tôle d'acier et consolidée par deux bandes en tôle d'acier de 6^{cm} de largeur, qui sont rivées sur le manchon de tôle suivant les génératrices d'en bas et d'en haut. A l'intérieur de la hampe se trouvent deux canaux latéraux pour le passage des conducteurs électriques.

La partie arrière de la hampe se termine par un talon en fer T portant un piton P destiné à recevoir le cartahu de manœuvre.

La *hampette* (vue 4) est une tige d'acier H de $3^{m},00$ de longueur. Sa partie avant est filetée et reçoit la fourche qui est arrêtée par une clavette.

Elle vient se fixer sur la hampe de la façon suivante : son extrémité arrière se prolonge par une tige conique A (vue 3) de $0^{m},356$ de longueur, filetée à sa base, qui s'enfonce à l'intérieur de la partie AV de la hampe, et se visse sur un manchon taraudé N que porte celle-ci ; elle est maintenue, en outre, par des prisonniers. Deux gouttières latérales destinées à recevoir les fils conducteurs sont ménagées tout le long de la hampette, deux tôles légères recouvrent ces cannelures.

2° *Hampe d'exercice.* — La hampe d'exercice est en bois, de 5^{m} de longueur, et consolidée par une bande de tôle. Une tige en fer légèrement conique, de 34^{cm} de longueur et filetée à sa base, vient se loger à la partie avant de la hampe et se visser sur une douille à écrou que porte celle-ci. Cette tige se prolonge sur l'avant par une partie légèrement conique de 46^{cm} de longueur.

La *hampette* est en bois, de 4^{m} de long. La partie arrière

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

est évidée de manière à venir s'emmancher sur la tige conique de 46cm, qui prolonge la hampe sur l'avant. Un manchon en tôle et des vis consolident la jonction de la hampe et de la hampette.

Emmanchement de la torpille. — La torpille M (vue 4) est portée par une baïonnette à fourche F deux fois coudée, qui s'emmanche sur la hampe au moyen d'une douille filetée D avec goupille d'arrêt. Le double coude de la fourche a pour but de reporter le centre de résistance de la torpille au-dessous du prolongement de l'axe de la hampe, condition favorable à la stabilité du système. Elle permet aussi d'atteindre normalement les formes du navire, malgré l'inclinaison de la hampe.

Chariot à galets. — Le chariot à galets C (vue 1) comporte deux galets supérieurs et deux réas inférieurs, entre chaque paire desquels sont comprises les filières directrices F, F.

Les galets supérieurs supportent en partie le poids de la hampe. Les deux réas inférieurs résistent à l'effort beaucoup plus considérable qui se produit sur l'arrière de la hampe lorsqu'elle est poussée à la mer.

Filières. — Les filières F, en fil de fer zingué de 1cm de diamètre, sont tenues à l'arrière sur deux pitons du plat bord ; à l'avant, elles viennent s'arrêter sur les deux branches N, N′ d'une traverse en U fixée à l'une des fermes en cornière de la teugue protectrice.

Les filières directrices portent deux ridoirs r, r' à l'arrière qui leur donnent la tension convenable.

Tout l'appareil est mis en mouvement au moyen du cartahu de manœuvre pour mettre la hampe à son poste de combat, et avec le treuil T pour rentrer la hampe à son poste de navigation.

TORPILLES DIVERGENTES

§ 786. **Destination.** — Les torpilles divergentes sont abandonnées aujourd'hui ; nous n'en parlerons que pour faciliter des recherches ultérieures au cas où le système reprendrait de la vogue.

En tout état de cause, ces engins sont destinés à être portés contre un bâtiment ennemi au moyen d'un flotteur relié au navire assaillant par une remorque, qui lui permet d'en suivre les mouvements et de s'en tenir écarté. Dans cette intention, la remorque est frappée sur le flotteur au moyen d'une patte d'oie à branches inégales, de telle sorte que, le navire étant en marche, la résistance

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de l'eau agisse sur la partie immergée du flotteur pour l'écarter horizontalement. Si on laisse tomber un pareil flotteur le long du bord, il raidit sa remorque, s'oriente et s'élance au large du navire ; quand son impulsion est détruite par la résistance de l'eau, il s'arrête et navigue avec son remorqueur à une distance réglée par la longueur de la remorque et par son angle de divergence.

On voit le parti qu'on peut tirer de cet engin, soit pendant qu'il s'élance, soit quand il est à sa position d'équilibre, pour lui faire aborder un navire ennemi, et provoquer l'explosion au moment où il se trouve à l'immersion convenable.

§ 787. **Essais faits en France sur différents systèmes de torpilles divergentes**. — Dès le début, on décida que l'immersion serait de 2^m, l'effet d'une torpille au contact étant d'autant plus efficace que la profondeur est plus grande. Pour obtenir cette immersion, on suspendait la torpille au-dessous d'un flotteur par un système de tiges rigides. L'ensemble du flotteur et des tiges constituait un parallélogramme qui, au repos, se tenait vertical dans l'eau.

Ce système était relié au navire par une remorque frappée sur une patte d'oie à quatre branches, établie sur le parallélogramme et disposée de manière à lui donner une divergence suffisante pendant le remorquage. Avec cette disposition, dès que les vitesses augmentaient, le flotteur se déjaugeait par suite même de la vitesse ; les conditions d'équilibre se trouvaient modifiées, le centre de poussée de l'eau s'abaissait sur le parallélogramme ; et comme le point d'application de la traction restait le même, le système se renversait. Cet appareil à tiges fixes était d'une grande simplicité ; on ne l'abondonna qu'après une longue suite d'expériences, et après avoir essayé des tiges donnant 1^m d'immersion seulement. On imagina alors d'articuler les tiges formant trois des côtés du parallélogramme, de replier celui-ci et de le loger dans un encastrement pratiqué dans la partie inférieure du flotteur. La patte d'oie n'avait plus que deux branches ; la torpille affectant la forme d'un espar était dans des conditions de navigabilité excellentes. Quand le flotteur frappait un bâtiment, un système d'antennes placées sur la tête en tôle et la débordant recevait le choc et rendait la torpille libre. Celle-ci tombait par suite de son poids en développant le parallélogramme, et arrivait à $2^m,50$ de profondeur et à $1^m,50$ en avant de la tête du flotteur ; elle venait donc

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

frapper la carène dans des conditions favorables. Mais les opérations successives que comportait le fonctionnement de la torpille demandaient un temps relativement long, plusieurs secondes ; pendant cet intervalle, la traction de la remorque continuait à s'exercer sur la partie supérieure du système, et le renversait dès que le développement commençait à s'opérer.

Des modifications furent faites ; on revint à l'immersion de 1^m, on donna à l'engin une disposition nouvelle qui porta le nom de torpille *à fourreau*, mais sans obtenir de résultats plus satisfaisants. Enfin, en 1877, parut une torpille divergente établie sur des principes complètement différents, et qui fut rendue réglementaire.

TORPILLE DIVERGENTE, MODÈLE 1877

§ 788. **Disposition générale.** — Cette torpille est constituée par un flotteur, relié au bâtiment au moyen d'une patte d'oie à deux branches, sur laquelle vient se fixer la remorque. La torpille est logée en dessous de la partie antérieure du flotteur sous une tête en tôle munie d'antennes. Quand la pointe du flotteur frappe un bâtiment, la torpille, rendue libre par un système de déclenchement, coule en vertu de son poids, tout en restant reliée électriquement au navire assaillant par un conducteur qui se déroule ; au moment où elle arrive à une immersion déterminée, 2^m par exemple, un piston hydrostatique ferme le circuit à l'intérieur de la torpille, et celle-ci détone.

Cette torpille, dite *à aiguille*, comprend deux parties distinctes : 1° la *torpille proprement dite ;* 2° le *flotteur*. Elle reçoit une charge de 41^{kg} de fulmicoton humide ; la charge-amorce est de 1.400^{gr} de fulmicoton sec.

§ 789. **Torpille proprement dite. —** Elle se compose (Pl. XXIX, fig. 1) de trois parties principales : 1° la carcasse ; 2° la boîte d'amorce et son couvercle ; 3° la boîte de l'inflammateur et l'inflammateur à aiguille.

Carcasse. — Le corps de la torpille (vue 1) est cylindrique. Il porte à l'extérieur quatre tourillons placés deux à l'avant, deux à l'arrière. Sur le fond se trouve le bouton de poussée B destiné à recevoir l'action du ressort de tête du flotteur ; à cette même partie est rivé le piton de suspension p' servant à recevoir le chien d'enclenchement.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le chapeau ogival C est rapporté au moyen de quatre boutons *b*.

La boîte de l'inflammateur Z sert de porte de charge, et la jonction se fait au moyen de douze boulons. Le chapeau ogival C en tôle est percé de trous *t*, *t*, *t*..., pour l'entrée de l'eau.

Boîte d'amorce. — Elle comprend la boîte I de l'inflammateur et la boîte d'amorce proprement dite G. La boîte supérieure I de forme carrée est munie d'une collerette circulaire D. L'étanchéité est obtenue par une rondelle en caoutchouc entre cette collerette D et la base supérieure E de la torpille ; une deuxième rondelle en caoutchouc vient se placer entre cette collerette et celle F de la boîte de l'inflammateur. Ces rondelles sont serrées en même temps par les boulons de la porte.

La boîte d'amorce proprement dite G est munie d'un couvercle F′ en tôle zinguée de forme elliptique ; ce dernier est serré par des écrous à oreille *m* ; il est percé en son milieu d'un trou circulaire destiné à livrer passage à la tête H de la vis de réglage.

La boîte G, de forme parallélipipédique, est en fer-blanc ; elle est soudée par sa collerette à la boîte supérieure I, et sert à recevoir l'amorçage.

Boîte d'inflammateur. — La boîte d'inflammateur Z est en bronze épais, et se compose d'une partie cylindrique surmontée d'une collerette F. Sur un côté est un trou d'amorce H′ servant au passage étanche du conducteur *c* allant à la remorque.

Le fond de la boîte porte en son milieu un bouchon cylindrique R en ébonite, qui reçoit la vis de réglage. Sur la tête de celle-ci, en H, vient se fixer une des branches *c′* de l'amorçage.

L'inflammateur se compose d'un piston hydrostatique M en bronze légèrement bombé, portant un rebord destiné à lui servir de guide ; au centre se trouve l'aiguille de contact *m*. Le piston appuie sur un ressort en laiton K appelé *ressort d'inflammateur*.

Lorsque la torpille est arrivée à une immersion voulue, la pression de l'eau agissant sur le piston M fait fléchir le ressort K, et le contact a lieu entre l'aiguille *m* et la vis de réglage L ; à ce moment le circuit est fermé par la mer.

L'étanchéité de la boîte d'inflammateur est obtenue au moyen d'un diaphragme en caoutchouc vulcanisé N, d'une rondelle métallique *n* et d'un bouchon O à vis. Ce dernier est percé d'un trou *q*, destiné à recevoir le tuyau d'arrivée de l'eau pour le réglage de l'instrument.

Charge-amorce et amorçage. — La charge-amorce se compose

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

de slabs présentant un poids total de 1^{kg},400 de fulmicoton *sec*. Dans l'intérieur de ces slabs se trouvent logées deux amorces S, S′ en circuit dérivé.

Épreuves. — Pour faire l'épreuve de la torpille, on met le conducteur *c* à la borne (G), par exemple, de l'appareil d'essai § 741 ; on place un fil auxiliaire en communication avec la borne (+) et une partie décapée de la carcasse ; le galvanomètre ne doit pas dévier. Puis on démonte le bouchon O ; on presse avec la main sur le piston hydrostatique jusqu'à ce que l'aiguille *m* vienne au contact de la vis de réglage L ; le galvanomètre doit dévier.

Le poids de la torpille vide, y compris les boîtes d'amorces et d'inflammateur et le chapeau ogival, est de 51 kilogrammes.

§ 790. **Flotteur**. — Le flotteur (vue 2) comprend trois parties : 1° le corps ; 2° les organes de déclenchement ; 3° le gréement.

Le corps du flotteur est composé d'une carcasse en bois, remplie de liége, sauf aux extrémités avant et arrière, qui, pour plus de solidité, sont entièrement façonnées en bois. A peu près cylindrique à sa partie avant A, il va en s'amincissant vers l'arrière, de manière à former une queue Q ayant plus de hauteur que de largeur. La partie avant est prolongée par une tête en tôle d'acier T, en forme de cuiller à canon, ayant pour but de supporter la torpille, de la protéger contre les chocs et de servir de point d'appui aux organes de déclenchement.

Au centre de la tranche avant du flotteur, en *p* (vue 3) est logée une boîte de bronze *q* munie d'un ressort *r* et d'un piston X, dit *de tête*. Le piston porte à l'avant un bouton de poussée. Cet appareil a pour but de dégager vivement la torpille de son flotteur, dès que les organes de déclenchement la rendent libre. Aussi la torpille ne peut-elle être mise en place que quand le ressort de poussée est bandé.

Sur l'un des côtés du flotteur se trouve un évidement longitudinal, nommé *boîte à pile ;* il sert à loger le conducteur, qui doit continuer à relier la torpille à la remorque, après qu'elle a abandonné son flotteur.

De l'avant de la boite part une rainure C (vue 2) servant au logement du fil conducteur qui va à la torpille.

En D′ et D, se trouvent les chapes des verroux avant et arrière, encastrées dans le corps du flotteur. Dans ces chapes se meuvent deux verroux dont le rôle est de rendre la remorque solidaire ou

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

non du flotteur. Dans la partie inférieure de la queue est encastrée une masse de plomb servant de contre-poids pour équilibrer la torpille.

La tête T du flotteur est en tôle d'acier renforcée par des nervures. Elle est munie de 3 brides b, b, b, servant de guides au levier droit F de déclenchement de la torpille. En S, S′ se trouvent les deux supports des leviers de côté g, g qui servent également au déclenchement.

§ 791. **Organes de déclenchement.** — Les organes de déclenchement se divisent en deux groupes actionnés par le même levier F.

Le premier groupe comprend les organes qui commandent le déclenchement de la torpille, c'est-à-dire le levier droit F (vue 3) et les leviers de côté g, g, un chien de suspension K et un appareil de poussée. La torpille mise en place après le bandage du ressort de poussée, est maintenue dans cette position par le chien de suspension K, qui s'engage dans un piton p' fixé à la base de la torpille. L'extrémité du chien vient se loger dans une fente du levier droit, qui le fixe dans une position déterminée. Si l'un des leviers subit un choc, F rentre en glissant dans ses guides ; l'extrémité du chien se dégage de la fente, et la torpille devient libre ; elle est en outre projetée au dehors par l'appareil de poussée qui appuie sur le bouton B de la base.

Le deuxième groupe, qui comprend les organes de déclenchement de la patte d'oie, comporte (vue 2) le levier droit F, le levier de bielle L, la bielle B′, un verrou avant D′, un verrou arrière D, et une tringle reliant les deux verroux.

Le levier droit F subissant un choc, marche sur l'arrière, actionne le levier L qui pousse la bielle B′ sur l'avant ; celle-ci fait avancer dans le même sens les deux verroux avant et arrière, qui dégagent en même temps les deux œils de la patte d'oie qui y sont retenus.

§ 792. **Gréement du flotteur.** — Le gréement comprend : une patte d'oie de remorque, un fil de déroulement, une remorque conductrice, un hâle à bord et une laisse.

La patte d'oie se compose de deux bouts de cordage en fil de fer zingué ; la branche avant a $1^m,60$ de longueur, celle d'arrière $3^m,10$. Elles sont réunies par un étau dans lequel vient se capeler

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la remorque ; la réunion a lieu au moyen de deux cosses placées à l'extrémité de chacune des branches, et passées dans une manille double que porte le corps de l'étau. Les deux autres extrémités des branches de la patte d'oie sont également munies de cosses en cuivre dans lesquelles pénètrent les verroux du flotteur. La laisse sert à maintenir la torpille à 7 ou 8 mètres du bord quand elle est à la mer.

La remorque se compose de 3 fils étamés, cordés ensemble, isolés au caoutchouc et recouverts d'une armature formée de sept torons comprenant chacun 14 fils d'acier zingué. La résistance de ce câble à la rupture est d'environ 5.500^{kg}.

Le fil de déroulement est constitué par un bout de câble militaire (§ 800) de 60^{m} de longueur.

§ 793. **Mouilleurs**. — Les mouilleurs sont placés de telle sorte que les torpilles soient à l'abri de la mer dans les circonstances ordinaires, ne puissent s'engager dans le propulseur quand on les mouille, ne gênent pas l'artillerie, et n'entravent pas la manœuvre des vergues ni des embarcations.

Ils sont, par suite, assez élevés au-dessus de la flottaison, à quelques mètres au moins sur l'avant du couronnement, en dehors du champ de tir et peu saillants à l'intérieur de la muraille. Il faut que l'on puisse embarquer aisément les torpilles, soit pour les démonter quand on ne doit pas s'en servir, soit pour les mettre à l'abri en cas de gros temps ; les mouilleurs doivent donc être placés à proximité des bossoirs d'embarcation ou même d'un bossoir spécial permettant une manœuvre facile de l'engin.

Le mouilleur réglementaire, à révolution tronconique (vue 4), se compose de 2 fourches F, F′, dans lesquelles le flotteur repose le ventre en l'air, la tête en F, la queue en F′. Ces fourches sont placées à l'extrémité de deux arcs-boutants mobiles autour du même axe horizontal O O′, placé près de la flottaison du bâtiment. L'arc-boutant de l'avant F O est plus long que celui de l'arrière F′ O′ ; tous deux sont réunis par une traverse TT, convenablement appuyée par des jambes de force K J, K J′.

Le système est maintenu le long de la muraille par des chaines fixées en I, I′ sur le mouilleur, et crochées à des pitons en dedans des bastingages. Une autre chaine frappée en K vient à bord se capeler sur le doigt vertical d'un système de déclenchement tournant, analogue à celui qu'on emploie pour le mouillage des ancres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour mouiller le flotteur, on affale les chaines I, I′ à une longueur convenable pour qu'elles puissent servir de balancines au mouilleur rabattu. Puis on coupe l'aiguillette qui retient la chaine K. Le système tourne autour de son axe OO′, projette le flotteur à l'eau, et reste maintenu par les balancines I, I′, qu'il suffit d'embraquer pour remettre le mouilleur à son poste.

§ 794. **Treuil.** — Le treuil pour torpilles divergentes a pour but de tenir la remorque soigneusement enroulée sur un tambour de grand diamètre, de la filer avec une vitesse pouvant atteindre 10 à 12 mètres par seconde, et de l'embraquer au besoin, tout en maintenant rigoureusement la conductibilité électrique entre la remorque et la pile.

Le treuil (vue 5) comprend, entre les flasques U_1 et U'_1, deux parties principales :

1° L'arbre portant une grande roue dentée C et un manchon. Celui-ci est immobilisé dans le sens du déroulement par une roue à rochet et un cliquet.

2° Le tambour d'enroulement Y, qui reçoit la remorque et porte une roue dentée X. Le manchon précité est placé dans l'intérieur du tambour Y, et il est entouré par un grand ressort circulaire à lame muni d'un taquet encastré dans une gorge que présente sa surface. Le ressort appuie sur la surface intérieure du tambour Y. Quand ce ressort est libre, comme il est tenu sur le manchon, il s'applique avec force dans l'intérieur du tambour, et rend le manchon et le tambour solidaires.

Les deux extrémités du ressort sont reliées par une chaine-galle faisant dormant sur l'une des extrémités du ressort, passant sur un galet placé à l'autre extrémité, et après une série de galets venant aboutir à un arbre intérieur qui peut coulisser en dedans de l'arbre creux du treuil. Le bout de l'arbre intérieur r fait saillie au dehors.

Supposons le manchon immobile ; si au moyen de la chaine-galle on rapproche les extrémités du ressort, celui-ci s'applique avec moins de force à l'intérieur du tambour Y, et ce dernier peut tourner sous un certain effort. Quand la tension devient plus grande, Y tourne plus facilement. Si enfin on tend complètement le ressort, le tambour Y devient indépendant du manchon et se trouve affolé.

Le fonctionnement du système consiste donc soit à laisser le ressort libre, et alors Y fait corps avec le manchon ; soit à tendre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

ce ressort pour obtenir un déroulement de Y. La chaîne-galle, au moyen de laquelle on obtient la tension du ressort, se manœuvre, soit automatiquement, soit à la main par l'intermédiaire de l'arbre intérieur r, pouvant coulisser en dedans de l'arbre creux du treuil.

§ 795. **Déroulement automatique ou à la main.** — Deux galets à gorge Q et R sont placés à l'avant du treuil; R a son axe fixe, Q a le sien mobile. La remorque, en quittant le treuil pour se rendre à la poulie de retour sur le pont, passe entre ces deux galets. Q a son axe monté sur l'extrémité d'un levier QS mobile autour de l'axe P, et portant en S un contre-poids.

Supposons que la remorque subisse une traction considérable; Q va s'abaisser entrainant le levier qui tourne sur l'arbre P, malgré le contre-poids S. Dans ce mouvement, un renfort de métal placé en O, sur le levier, vient soulever un bras N mobile autour de l'axe L et solidaire de la fourchette K qui embrasse la partie r de l'arbre faisant saillie en dehors du treuil; K tend donc à tirer l'arbre en dehors. Mais la pièce r est réunie à l'extrémité de la chaîne-galle; celle-ci va se tendre et bander le ressort, qui appuiera avec d'autant moins de force à l'intérieur du tambour Y que la traction sur la remorque sera plus grande; Y déroulera.

Le déroulement peut s'obtenir à la main. Dans ce but, la fourchette K est solidaire d'un levier M qui est terminé par une manette. En portant la manette du levier en dehors du treuil, on reproduit tous les effets que la remorque vient d'exécuter automatiquement.

§ 796. **Enroulement de la remorque.** — L'enroulement de la remorque se fait au moyen d'un arbre à manivelles AA, qui peut coulisser sur la tête des flasques U_1 et U'_1 du treuil, de manière à mettre en prise le pignon B avec la roue C, ou le pignon V avec la roue X. Si la remorque ne subit aucune traction, et qu'il s'agisse seulement de l'enrouler sur le treuil, on met B en prise avec C, et agissant sur les manivelles, on tourne dans le sens de l'enroulement.

Si au contraire la remorque subit une traction, et que l'effort à faire pour l'enrouler sur le treuil soit considérable, on amène V en prise avec X, et l'on agit sur les manivelles. Si à un moment donné on abandonne les manivelles, il ne peut y avoir de déroulement, car l'arbre AA est maintenu par un rochet.

Pour que le déroulement automatique ou à la main soit possible,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

il faut faire de nouveau coulisser l'arbre des manivelles de manière à dégager le pignon V d'avec la roue X.

Le treuil est établi de manière à répondre aux conditions suivantes :

1° Tant que la traction de la remorque est inférieure à 300^{kg}, il la maintient et ne se déroule pas ; 2° quand la traction atteint 300^{kg}, le déroulement automatique commence, et devient d'autant plus rapide que la traction est plus grande ; 3° quand la traction atteint 800^{kg}, le treuil laisse dérouler librement la remorque, et la vitesse peut atteindre 10^{m} par seconde ; 4° pendant le déroulement, quelle que soit la vitesse, on est libre de modérer le mouvement ; 5° inversement, même avec des tractions inférieures à 300^{kg}, on peut provoquer le déroulement, si on le juge utile ; 6° quatre hommes, agissant sur les manivelles du treuil suffisent, avec une traction de 1.000^{kg} sur la remorque, pour enrouler celle-ci de 5^{cm} par seconde ; 7° dans toutes ces manœuvres, on peut abandonner les manivelles à elles-mêmes sans avoir à craindre de mouvement de retour.

§ 797. **Communications électriques, et poste d'inflammation**. — La communication électrique entre la remorque et la partie fixe du treuil est établie de la manière suivante : le bout intérieur de la remorque est fortement saisi sur le tambour Y. Son extrémité, dégagée de son armature, descend le long de l'une des nervures de la roue X jusqu'au moyeu de cette roue. Elle le traverse horizontalement, et vient aboutir à un ressort en forme de lyre évasée porté par une plaque d'ébonite. Ce ressort embrasse une bague à gorge en cuivre disposée sur la flasque du treuil vis-à-vis le moyeu de la roue X, et fixée sur une couronne d'ébonite. Cette bague est reliée elle-même par un fil isolé à une borne isolée placée à la partie extérieure de la flasque. Quand le tambour Y tourne, la lyre court dans la gorge de la bague métallique et maintient la communication électrique entre la torpille et ladite borne. Celle-ci est reliée par des fils divers au poste d'inflammation.

Le poste d'inflammation est placé au-dessous de la flottaison, afin d'être à l'abri des projectiles. Il renferme une table de manipulation, sur laquelle sont établis la pile d'inflammation, un appareil d'essai à trois bornes et une bobine de résistances de 5.000^{m}.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La pile d'essai est placée en E (fig. 198), celle d'inflammation en P. Un commutateur à chevilles disposé comme l'indique la

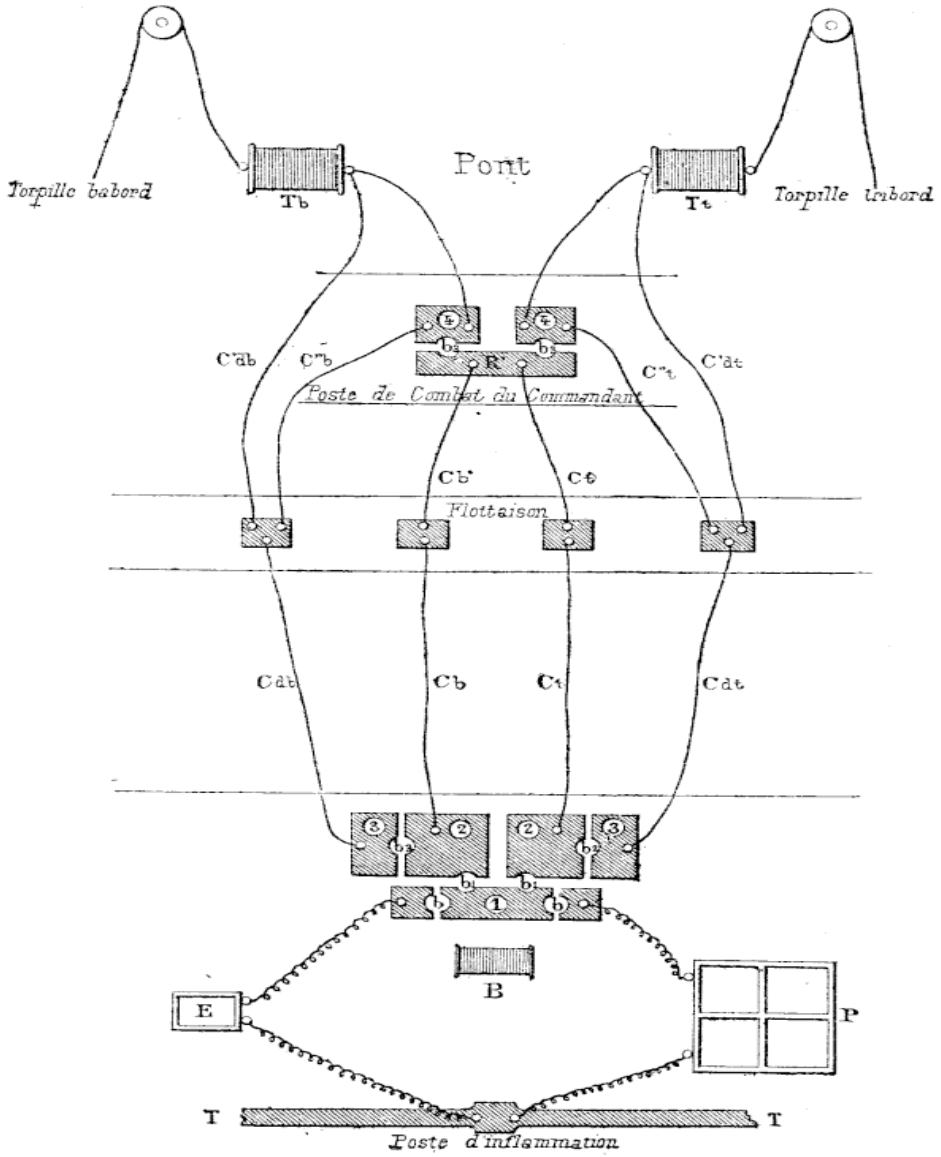


Fig. 198.

figure, permet de faire communiquer l'une quelconque de ces piles avec l'un des circuits. Les piles ont d'ailleurs leurs pôles positifs reliés en T T avec la mer, par l'intermédiaire de laquelle se ferme le circuit complet de l'amorçage.

Une table de disjonction est placée sur le pont ou sur la passe-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

relle, c'est-à-dire à la portée du poste de combat du commandant.

Supposons qu'il existe à bord deux torpilles. Comme on le voit à l'inspection de la figure, l'une d'elles, par exemple, peut être mise en communication directe avec la pile par les câbles C_{dt} et C'_{dt}, ou lui être reliée par l'intermédiaire du poste de combat à l'aide du conducteur C_t. Enfin elle peut être à volonté rattachée à la pile d'essai ou à celle d'inflammation par le jeu du commutateur.

Quand le commandant ordonnera de lancer le courant d'inflammation dans les conducteurs, le poste d'inflammation mettra en place le bouchon b_1. Le commandant pourra alors rendre la torpille offensive au moyen de la cheville b_3.

Enfin, dans le cas où la table de disjonction serait détruite, le commandant ordonnera de mettre en place le bouchon b_2; et dès lors le courant passera directement par le conducteur C_{dt}.

Par ailleurs il existe en C''_t un fil supplémentaire.

§ 798. **Manœuvre des torpilles divergentes.** — Le flotteur muni de sa torpille chargée est sur son mouilleur. Le circuit d'inflammation étant ouvert, au commandement de « *Mouillez* », l'aiguillette du mouilleur est larguée, la remorque légèrement embraquée. Le flotteur tombe à l'eau convenablement orienté pour diverger, et s'arrête à 7 ou 8^m du bord tenu par la laisse. Dans ces conditions, le bâtiment peut venir d'un bord et de l'autre sans qu'on ait à se préoccuper des torpilles; mais il ne doit pas marcher en arrière, sous peine d'être abordé par elles, ce qui aurait pour conséquence de les faire déclencher. Si l'on veut attaquer avec la torpille en divergence, il suffit de larguer la laisse. Le flotteur s'élance au large, et, en quelques instants, atteint son poste d'équilibre. La remorque doit être le plus bas possible en tenant compte de la vitesse et de l'état de la mer.

Les seules épreuves que l'on puisse faire avec la torpille à l'eau sont celles de conductibilité et d'isolement des circuits intérieurs, et celles d'isolement des circuits extérieurs. Dès que la laisse est larguée, les bouchons d'inflammation peuvent être mis en place si le circuit est bien isolé.

CONDUCTEURS ÉLECTRIQUES ET PILES POUR LES TORPILLES FIXES ET MOBILES

§ 799. **Conditions à remplir.** — Les conducteurs électriques destinés aux torpilles doivent offrir peu de résistance au cou-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rant, être bien isolés et d'un maniement facile. C'est-à-dire qu'ils doivent, autant que possible, être de petit diamètre, souples et légers ; il faut aussi qu'ils résistent à un effort de traction assez grand et au frottement sur le fond de la mer.

L'âme est constituée par du cuivre. Celui que l'on adopte est le cuivre rouge recuit, dit *cuivre-rosette*, dont la conductibilité, d'après les marchés, ne doit pas être inférieure à 0,80 de celle du cuivre pur. Sa densité est 8,8 ; sa résistance à la rupture est de 2.350 à 2.750^{kg} environ par centimètre carré. Avant de se rompre, il s'étire de 10 à 15 p. 100.

Au lieu d'un fil unique, on emploie souvent un faisceau de fils plus fins tordus ensemble et fournissant la même section. Cette disposition permet à plusieurs fils de se rompre sans que le conducteur soit mis hors de service.

L'isolement de l'âme se fait ordinairement avec de la gutta-percha ou du caoutchouc.

Le Chatterton est un mélange de 3 parties de gutta, 1 de résine et 1 de goudron de Stockholm. Il se ramollit facilement par l'action d'une chaleur modérée, et sert à combler les vides existant entre l'âme et les diverses couches de gutta formant la gaine, en même temps qu'il augmente l'adhérence de ces parties.

Quand la gaine isolante est en caoutchouc, le fil de cuivre doit être étamé; car le soufre du caoutchouc vulcanisé attaque le cuivre.

L'armature sert à protéger les câbles contre le frottement du fond.

Sur les fonds mous, les câbles isolés à la gutta sont recouverts simplement d'un guipage en chanvre goudronné, dont l'utilité n'est du reste pas parfaitement prouvée.

Sur les fonds rocheux, et quand on a à craindre des chocs, on se sert d'armatures métalliques composées ordinairement de fils de fer enroulés en spirale allongée. Entre l'armature et le conducteur, on interpose un matelas formé par deux spirales inverses de chanvre, l'une goudronnée, l'autre imprégnée de tanin, ou simplement couverte d'une couche de pitre. Les fils de fer sont galvanisés, pour empêcher l'oxydation ; et on les recouvre de deux spirales inverses d'étoupe enduite d'un mélange de poix minérale et de silice en poudre.

Les câbles armés sont généralement lourds, peu souples et difficiles à réparer.

Le tableau suivant contient les divers conducteurs en usage.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 800. Tableau des divers conducteurs.

NOM COMMUN	NOM PROPRE	AME — Nombre de fils et leur disposition	AME — Diamètre d'un fil	AME — Section totale	GAINE — Nombre de couches	GAINE — Nature des couches à partir de l'âme.	GAINE — Épaisseur totale de la gaine	ARMATURE — Nature du matelas	ARMATURE — Nombre de fils et leur nature	ARMATURE — Diamètre d'un fil	ARMATURE — Disposition de l'armature	DIAMÈTRE extérieur total	POIDS du mètre courant	PRIX approché	RÉSISTANCE à la rupture	OBSERVATIONS
			millimèt.	milli. carr.			millimèt.			millimètr.		millim.	grammes	francs	kg.	
Fils d'amorce. . .	N° 1.	1	1,00	0,79	1	Gutta-percha.	1,00	»	»	»	»	3,00	10	0,20	26	
	N° 2.	1	1,14	1,02	2	Idem	1,80	»	»	»	»	4,70	17	0,46	41	
Fils de sonnerie. .	N° 1.	3	0,50	0,60	1	Gutta-percha.	1,40	»	»	»	»	3,80	15	0,45	35	
	N° 2.	3	0,60	0,76	1	Idem.	1,70	»	»	»	»	4,50	»	»	»	
	Câble militaire Ménier.	7	0,40	0,88	3	1° Gutt. et caoutchouc. 2° Toile au caoutchouc. 3° Guipage goudronné.	1,25	»	»	»	»	4,50	20	0,23	70	Très souple et relativement très résistant.
Conducteurs à 7 fils (destinés à fermer en grande partie le circuit des torpilles fixes).	Modèle 1870.	7 tordus en spires de 5 centimètres carrés.	1,14	7,14	4	1° 2° Gutta-percha. 3° 4° Guipage goudronné.	3,42	»	»	»	»	9,44	150	1,36	180	Câble très solide et très maniable.
	Modèle 1873.	7 identiques aux précédents, mais étamés.	1,14	7,14	4	Idem.	3,42	»	»	»	»	9,44	150	1,36	180	En service dans quelques ports; mais on n'en fabrique plus.
	Câble Hooper.	7 étamés.	0,07	2,70	4	1° Caoutchouc naturel. 2° Séparateur (*). 3° Vulcanisé et au sulfure de plomb. 4° Coton feutré.	?	»	»	»	»	?	80	1,36	90	En service depuis les approvisionnements de 1870; on n'en a plus commandé.
Câbles d'amorce (servant d'intermédiaires entre les branches des amorces et les conducteurs à 7 fils des torpilles).	Ancien modèle 1873.	2 fils isolés l'un de l'autre.	1,00	0,79 pour chaque fil.	1 sur chaque fil. 2 sur l'ensemble.	Gutta-percha.	3,70	»	»	»	»	10.00	95	1,35	?	Éviter les flexions dans le plan des deux conducteurs; il est peu souple.
	Modèle 1876.	6 fils fins étamés, séparés en 2 groupes isolés l'un de l'autre.	0,60	0,76 pour chaque conducteur.	1 sur chaque faisceau. 2 sur l'ensemble; guipage.	Gutta-percha plus un guipage en chanvre.	4,20	»	»	»	»	11.00	125	1,40	?	Même observation. Il est plus souple que le précédent. Soudure plus longue à faire qu'avec l'ancien modèle.
Câbles armés (destinés à être élongés sur les fonds rocheux).	Réglementaire.	Comme pour le conducteur à 7 fils, modèle 1870.						Chanvre goudronné.	11 fils de fer.	4	Commis en aussière.	»	»	»	»	N'a pas encore été fabriqué couramment.
	Câble armé (Hooper).	7 étamés.	1,20	7,92	4	1° Caoutchouc naturel. 2° Séparateur. 3° Vulcanisé. 4° Coton feutré.	?	Pitre.	17 fils de fer.	3	En aussière, recouvert de pitre coaltaré enroulé en spirale.	»	1.000	1,65	»	En service dans les ports depuis les approvisionnements de 1870.
	Câble mère (Rattier).	70 étamés, divisés en 10 groupes isolés les uns des autres et commis en toron unique	0,90	4,45 pour chaque conducteur.	3 pour chaque conducteur.	1° Caoutchouc naturel. 2° Vulcanisé. 3° Spirales inverses de toile caoutchouquée.	»	Pitre.	18 fils de fer zingué.	4	En aussière.	?	2.700	8,50	»	Récemment adopté.
Remorques (destinées à remorquer les torpilles divergentes).	De combat (Rattier-Siemens).	3 étamés.	0,70	1,20	3	Isolement Rattier, mais toile enduite extérieurement en noir.	1,80	Pitre.	98 fils d'acier.	1	En 7 torons commis en grelin.	3,00	?	?	6.000 à 8.000	Grande souplesse. Peut servir à toute vitesse.
	D'exercice.	7	0,60	2,00	»	Isolement Rattier.	»	Pitre.	12 fils de fer zingué.	2	En aussière.	12,00	490	1,30	1.600 à 2.000	Assez souple. Peut servir jusqu'à 10 nœuds par belle mer.
	De fortune.	Filin de 60 millimètres allongé, dont un toron ou la mèche est remplacé par un fil de sonnerie, tel que Militaire-Ménier, ou à 7 fils, ou un câble Hooper genopé de distance en distance.						un conducteur ordinaire								Peut servir jusqu'à 8 nœuds par belle mer.

(*) Le *séparateur* est un mélange de caoutchouc et de 25 p. 100 d'oxyde de zinc.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 801. **Résistance électrique de l'âme des conducteurs employés dans le service des défenses sous-marines** (supposés en *cuivre pur recuit*).

DÉSIGNATION DU CONDUCTEUR	RÉSISTANCE en ohms par mètre		NOM DU CONDUCTEUR DANS LE SERVICE
	à 0° centigrade	à 14°	
Toron de 7 fils de 1mm,00.	0,00293	0,00309	
Id. 7 id. 1 ,14.	0,00223	0,00235	Conducteur à 7 fils.
Id. 7 id. 0 ,40.	0,01812	0,01910	Câble militaire.
Id. 3 id. 0 ,60.	0,01879	0,01980	Fil de sonnerie n° 2.
Id. 3 id. 0 ,50.	0,02706	0,02852	Id. n° 1.
Fil unique de 1mm,14 de diamètre.	0,01562	0,01646	Fil d'amorce n° 2.
Id. 1mm,00 id.	0,02029	0,02138	Id. n° 1.
Toron de 3 fils de 0mm,70.	0,01380	0,01454	Remorque de combat.
Id. 4 id. 0 ,70.	0,01035	0,01091	Câble armé à 2 conducteurs pour torpilleurs.
Id. 7 id. 0 ,60.	0,00805	0,00848	Remorque d'exercice.

§ 802. **Isolements kilomètriques minima des divers conducteurs employés dans le service des défenses sous-marines.**

NOM DU CONDUCTEUR	NATURE DE L'ISOLANT	ISOLEMENT KILOMÉTRIQUE MINIMUM
Fil d'amorce.	Gutta-percha.	283 mégohms à 20°
Fil de sonnerie	Id.	377 id. à 20
Câble militaire.	Id.	189 id. à 20
Conducteur à 7 fils.	Id.	377 id. à 14
Câble armé à 7 fils.	Caoutchouc.	1.415 id. à 20
Remorque de combat.	Id.	377 id. à 15
Câble armé à 7 conducteurs (7 fils de 0mm,6 pour chaque conduct.).	Gutta-percha.	475 id. à 24
Câble d'amorce à 2 conducteurs.	Id.	377 id. à 24

§ 803. **Tableau des forces électromotrices, des intensités en court circuit et des résistances intérieures correspondant aux piles employées dans le service des défenses sous-marines.**

NATURE DE LA PILE	FORCE électromotrice en volts minima	INTENSITÉ en court circuit en ampères minima	RÉSISTANCE intérieure en ohms maxima
Pile vigilante (Poggendorff)	2	8	0,25
Pile Leclanché à agglomérés { d'inflammation. . . .	1,4	3	0,47
	1,4	1	1,4

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

7E PIE. — CHAPITRE IV

TORPILLE AUTOMOBILE WHITEHEAD

§ 804. **Aperçu sur les torpilles automobiles.** — La torpille automobile est destinée à aller attaquer un navire ennemi à une profondeur déterminée au-dessous de sa flottaison. Le programme qu'elle a à remplir est fort complexe ; voici en quelques mots les conditions qui lui sont imposées :

Lancée par un bateau, la torpille doit franchir avec une grande vitesse la distance qui la sépare du bâtiment ennemi. Comme elle doit l'attaquer au-dessous de son blindage, il faut qu'elle se maintienne constamment à une hauteur d'immersion déterminée et invariable. La direction qu'on lui a imprimée ne doit varier dans aucun sens ni horizontalement ni verticalement ; et si un écart quelconque se produit, elle doit le corriger elle-même. La distance à franchir étant assez considérable, il faut qu'elle contienne un moteur avec une provision de force motrice suffisante. Aussitôt qu'elle a atteint l'ennemi, elle fait explosion ; mais si elle dépasse son but, elle coule afin de ne pas tomber entre les mains de ceux qu'elle va attaquer, et pour qu'un bateau ami ne soit pas exposé à la rencontrer sur sa route.

Les seules torpilles de ce genre adoptées par les diverses puissances maritimes, sont exclusivement construites par M. Whitehead, à Fiume (Autriche), et Schwarzkopf, en Allemagne.

Ces deux ingénieurs, dont, par une bizarre coïncidence, les noms signifient *tête blanche* et *tête noire*, sont les seuls qui aient jusqu'à présent réussi dans la fabrication si complexe et si délicate des engins de l'espèce, au moins en Europe. Leurs systèmes respectifs ne diffèrent du reste que très peu, et principalement par la nature du métal de l'enveloppe. En Amérique, on rencontre diverses combinaisons, parmi lesquelles il faut citer la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

torpille automobile de Lay, dirigeable du lieu de lancement et que nous décrirons en détail plus tard.

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX SUR LA TORPILLE WHITEHEAD

§ 805. **Dispositions d'ensemble, et différents modèles.** — La torpille Whitehead, seule torpille automobile employée en France jusqu'à présent, est composée d'un tube en tôle d'acier ou en bronze phosphoreux affectant la forme d'un fuseau assez effilé à ses deux extrémités.

La charge est formée de coton-poudre qui s'enflamme par percussion. La force motrice est fournie par l'air comprimé ; et la vitesse atteint 20 à 24 nœuds pendant un parcours de 400 à 500^{m}.

Les torpilles comportaient primitivement une seule hélice ; maintenant tous les nouveaux modèles ont deux hélices, dont les pas sont inverses, et qui, par suite, tournent en sens contraires. Cette disposition a pour but de neutraliser les déviations latérales.

Les torpilles ont deux gouvernails : le premier, qui est vertical, sert à combattre les déviations latérales ; le second est horizontal, il maintient la trajectoire à la profondeur déterminée.

	TORPILLES DE 5^{m},80 (ENVIRON)			TORPILLES DE 4^{m},40 (ENVIRON)		
	MODÈLE 1876		MODÈLE	MODÈLE	MODÈLE	MODÈLE 1880 (nouvelle charge)
	Petit	Grand	1880	1877	1878	
Longueur totale	5^{m},80	5^{m},80	5^{m},75	4^{m},40	4^{m},42	4^{m},42
Diamètre au fort	0^{m},381	0^{m},381	0^{m},381	0^{m},3556	0^{m},3556	0^{m},3556
Section maîtresse sous immersion complète	0^{m2},1140	0^{m2},1140	0^{m2},1140	0^{m2},0994	0^{m2},0994	0^{m2},0994
Poids disponible pour la charge explosible	32 à 33^{kg}	36 à 37^{kg},500	43^{kg}	18^{kg},200	27^{kg},200	26^{kg}
Poids de la torpille prête à être lancée	358^{kg}	362^{kg}	405^{kg}	240^{kg}	268^{kg}	272^{kg}
Déplacement sous immersion complète	352^{dc}	356^{dc}	398^{dc}	237^{dc}	264^{dc}	270^{dc}
Volume du réservoir d'air	180^{l}	180^{l}	215^{l}	128^{l}	140^{l}	147^{l}
Poids d'air à 70^{atm} contenu dans le réservoir	16^{kg}	16^{kg}	16^{kg}	11^{kg}	12^{kg}	12^{kg},700
Système de machine motrice	Brotherood.	Brotherood.	Whitehead.	Brotherood.	Brotherood.	Whitehead.
Pression de régime de la machine	35^{atm}	35^{atm}	22 à 32^{atm}	27^{atm}	28^{atm}	24^{atm}
Longueur du parcours	400^{m}	400^{m}	400^{m}	400^{m}	400^{m}	400^{m}

NOTA. — Les chiffres de ce tableau n'ont rien d'absolu ; ils donnent une idée des différences qui peuvent exister d'un modèle à l'autre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La torpille peut être lancée au-dessus ou au-dessous de l'eau, ainsi qu'il sera expliqué ultérieurement.

Jusqu'en décembre 1884, les torpilles de Whitehead ont été classées en cinq modèles principaux. Le mode de chargement et de mise à feu est le même pour tous les modèles. Le tableau ci-dessus contient un aperçu des éléments afférents aux modèles en question, qui existent encore dans toutes les marines, mais auxquels on substitue aujourd'hui de nouveaux types donnés plus loin.

§ 806. **Compartiments de la torpille.** — La torpille Whitehead est divisée en six compartiments :

1° *Le cône de charge* C (fig. 199), qui contient le coton-poudre destiné à produire l'explosion, ainsi que l'appareil percutant.

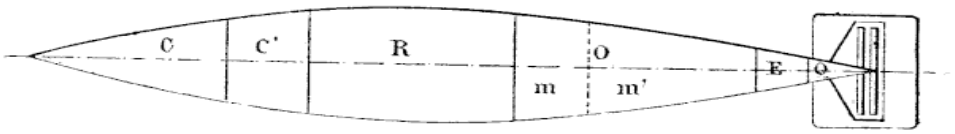


Fig. 199.

2° *La chambre des régulateurs d'immersion* C', renfermant un piston hydrostatique et un pendule, qui, par leurs mouvements combinés, déterminent les positions du gouvernail horizontal.

3° *Le réservoir à air comprimé* R, dans lequel on emmagasine à l'avance la provision d'air nécessaire à l'appareil moteur.

4° *Le cône arrière* O, qui comprend la chambre des machines *m*, et le flotteur Æ *m'*. Le flotteur Æ, qui est vide en grande partie, contribue à la flottabilité de la torpille ; une disposition spéciale permet d'y introduire de l'eau pour couler l'engin en cas de besoin.

5° *Le compartiment des engrenages* E, qui n'existe que dans les torpilles à deux hélices, et qui contient la transmission de mouvement de la seconde hélice ;

6° *La queue* de la torpille Q, comprenant les hélices, le gouvernail vertical et le gouvernail horizontal ou de profondeur.

§ 807. **Direction de la torpille. Théorie du piston hydrostatique et du pendule.** — La torpille est munie de deux gouvernails : l'un d'eux est vertical ; il sert à corriger les déviations en dehors du *plan de tir*. Il demeure immobile dans

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une position qui a été déterminée par un réglage préalable avant le lancement.

Le second a pour but de ramener la torpille dans un plan horizontal fixé à une certaine profondeur au-dessous de l'eau ; c'est le plan *d'immersion*. Ce gouvernail est horizontal ; il est mobile autour d'un axe horizontal perpendiculaire au plan longitudinal de la torpille (*).

Les mouvements du GH sont obtenus automatiquement au moyen d'un piston hydrostatique et d'un pendule dont voici le principe :

Sur une cloison supplémentaire située à l'AV du compartiment des régulateurs est percé un orifice dans lequel se meut un piston. Ce dernier reçoit d'un côté la pression de l'eau variable avec la hauteur d'immersion ; et sur l'autre face, il est soumis à l'action d'un ressort antagoniste bandé de manière à équilibrer une colonne d'eau déterminée correspondant à la hauteur d'immersion pour laquelle la torpille a été réglée.

Si la torpille est horizontale dans son plan d'immersion, le piston P est également pressé sur ses deux faces, et le gouvernail G reste dans son cadre horizontal, comme l'indique la figure 200 en (1).

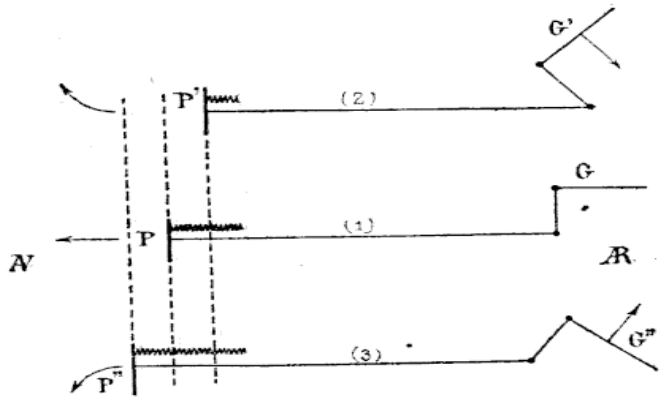


Fig. 200.

Quand la torpille est au-dessus de son plan d'immersion, le ressort exerçant sur le piston une poussée vers l'AV comme en (3), abaisse le gouvernail en G'' et la torpille descend.

Lorsque la torpille est au-dessous de son plan d'immersion, la pression de l'eau pousse le piston vers l'AR comme en (2), le gouvernail se relève en G', et la torpille remonte.

(*) Pour simplifier, nous désignerons souvent dans la suite le gouvernail vertical par GV, le gouvernail horizontal par GH. Quand le déplacement du GH se fera au-dessus du cadre qui le contient, nous l'affecterons du signe +, et du signe — quand il se fera au-dessous de ce cadre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On peut donc formuler ce qui précède de la manière suivante :

Piston sur l'AV, gouvernail en bas.

Piston sur l'AR, gouvernail en haut.

Comme la torpille a une faible masse et une grande vitesse, les actions du gouvernail s'exercent sur elle d'une façon très vive ; et elle procède par soubresauts successifs, qui lui font dépasser son plan d'immersion tantôt en haut tantôt en bas, sans qu'elle puisse s'y fixer. Pour régulariser l'effet du piston, et pour éviter l'amplitude exagérée qu'il produit sur le gouvernail, on se sert d'un pendule, dont la disposition est représentée théoriquement (fig. 201). La tige du piston, au lieu d'être reliée directement au gouvernail, s'articule en B sur un levier *b*B*o* qui tourne autour de l'axe O. Cet axe est solidaire avec un pendule R dont le point d'oscillation est en Q.

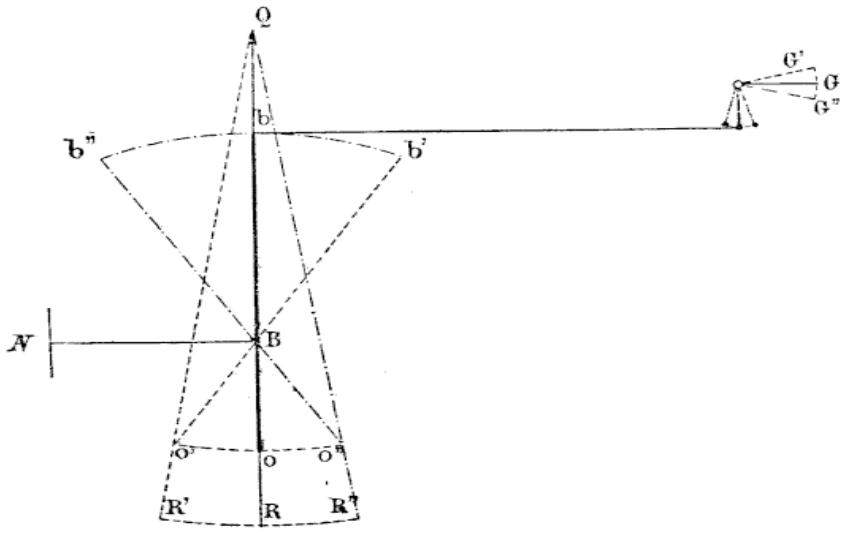


Fig. 201.

Examinons l'effet produit par ce pendule agissant seul sur le gouvernail (fig. 201).

Quand la torpille est horizontale, le pendule n'a aucune action. Si nous l'inclinons pointe en bas, le pendule vient en R′ sur l'AV ; et, comme le point B reste fixe, le gouvernail se trouve relevé.

Si la torpille s'incline pointe en haut, le pendule va en R″ sur l'AR, et le gouvernail s'abaisse.

On peut donc formuler comme il suit l'action du pendule seul :

Pendule sur l'AV, gouvernail en haut.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pendule sur l'Æ, gouvernail en bas.

Combinons maintenant les actions des deux régulateurs.

Mettons le piston sur l'Æ, et inclinons la torpille pointe en bas (fig. 202).

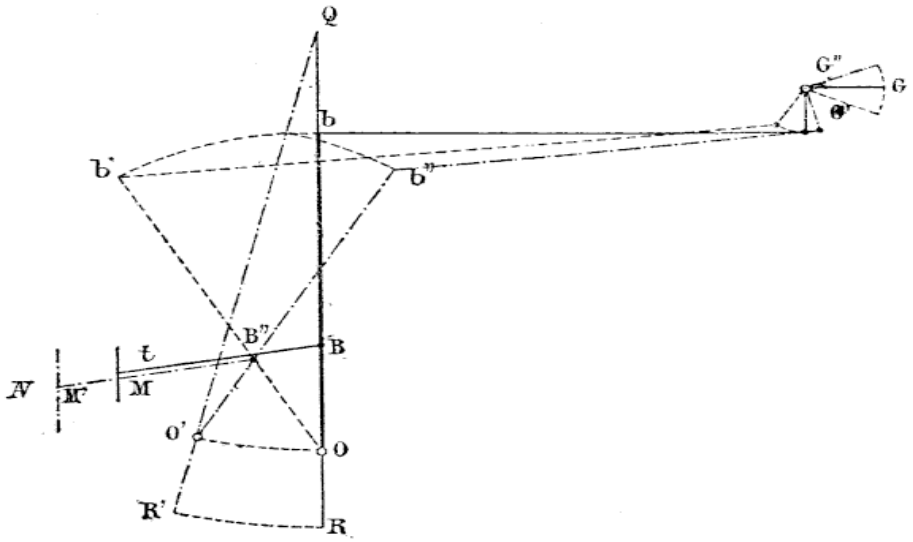


Fig. 202.

Si le levier bBO était soumis à l'action du piston seul, il se déplacerait en Ob' et le gouvernail baisserait; mais le pendule, qui est resté vertical, se trouve reporté sur l'Æ en QR'. L'axe O vient alors en O'; et le point B étant devenu point fixe, le levier se place définitivement en O'B''b''. On voit donc que le point b, qui, sous l'action du piston seul, aurait été entraîné vers l'Æ, se trouve porté vers l'Æ lorsque le pendule agit en même temps. Si nous analysons l'effet produit, nous remarquons que le gouvernail, qui était en bas G', sous l'action du piston seul, a commencé à monter par l'influence du pendule; à un moment donné, cette montée a annulé l'effet du piston. Puis le mouvement du pendule se continuant, le gouvernail s'est élevé au-dessus du cadre; et il y a eu prépondérance de l'effet du pendule sur celui du piston.

Ainsi, quand le piston et le pendule agissent tous les deux sur l'Æ, ce dernier annule peu à peu l'effet du piston, et il arrive une position où les deux effets inverses étant égaux, le gouvernail se place dans le plan du cadre. C'est la position *d'égalité d'actions*. L'angle que fait alors la torpille avec l'horizontale se nomme *angle d'égalité d'actions*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si le mouvement continue, le pendule produit sur le gouvernail un effet contraire à celui du piston, jusqu'à lui donner une inclinaison inverse, qu'on appelle la *prépondérance du pendule*.

Étudions de même l'action combinée du piston et du pendule venant ensemble sur l'Æ (fig. 203).

Par l'effet du piston seul le levier OB*b* se placerait O*b'*, et le gouvernail monterait. Mais, sous l'influence du pendule, le point O se porte en O', et l'extrémité du levier se place en *b''*, c'est-à-dire sur l'Æ. La prépondérance du pendule fait baisser le gouvernail.

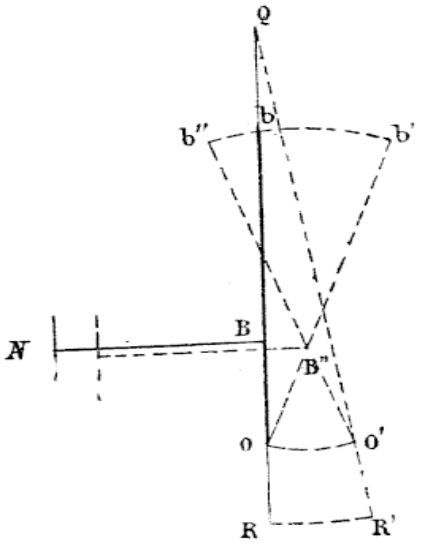


Fig. 203.

On peut formuler les deux actions combinées des fig. 202 et 203 de la manière suivante :

Piston et pendule sur l'Æ, gouvernail en haut.

Piston et pendule sur l'Æ, gouvernail en bas.

Il n'y a donc dans ce cas qu'à se rappeler l'effet du pendule seul, en remarquant toutefois que le gouvernail ne se lève ou ne se baisse que de la quantité correspondant à la prépondérance.

Supposons enfin les deux régulateurs agissant en sens contraire.

Le piston se transportant vers l'Æ, admettons que le pendule se déplace sur l'Æ (fig. 204). Le piston passant de M en M', le levier O*b* viendra en O*b'*; mais le pendule étant reporté en R', le point O se trouvera en O', et l'extrémité *b'* du levier se placera en *b''*; c'est-à-dire que le pendule a accentué l'action qu'exerçait le piston seul pour baisser le gouvernail.

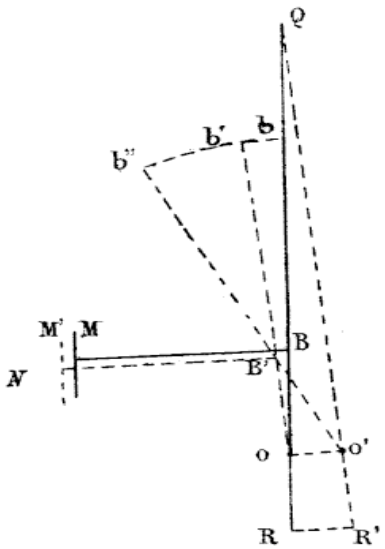


Fig. 204.

Si nous mettons le pendule sur l'Æ et le piston sur l'Æ, un effet analogue se produit ; le piston tend à faire monter le gouvernail, et le pendule agit dans le même sens.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans ces deux cas, il existe une position pour laquelle ces deux effets s'ajoutant produisent un angle maximum du gouvernail. C'est l'*amplitude pointe en haut* ou *pointe en bas*, suivant la direction qu'il occupe.

Analysons la trajectoire d'une torpille en appliquant les règles que nous venons de formuler :

1° Si la torpille descend la pointe en bas (fig. 205) au-dessous de son plan d'immersion IM, le piston tend à lever le gouvernail, le pendule agit dans le même sens; et il existe une position pour laquelle ces deux effets qui s'ajoutent produisent un angle maximum du gouvernail, c'est l'*amplitude pointe en bas.*

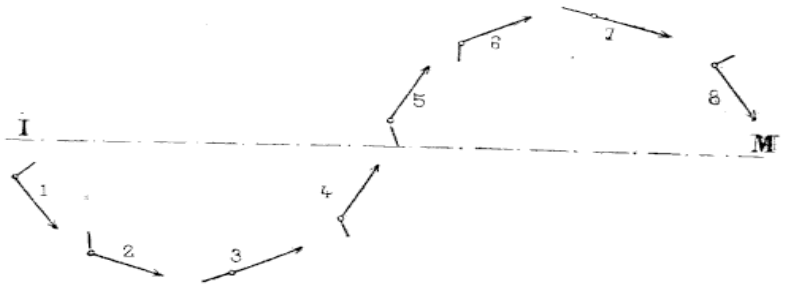


Fig. 205.

2° La torpille se relevant, l'effet du pendule va en diminuant jusqu'au moment où elle devient horizontale; alors le piston agit seul pour lever le gouvernail.

3° La pointe de la torpille se dirigeant vers le haut, le piston agit de moins en moins pour relever le gouvernail, et le pendule tend à le baisser; il arrive une position où ces deux forces opposées s'égalisent, et le gouvernail se met dans le plan de son cadre. L'angle que fait alors l'axe de la torpille avec l'horizontale s'appelle *angle d'égalité d'actions pointe en haut.*

4° La torpille continuant à monter, le pendule en vertu de son action prépondérante abaisse le gouvernail sous le cadre jusqu'à une inclinaison maximum qui est contraire à celle qu'il aurait prise sous l'action du piston seul. C'est la *prépondérance pointe en haut* du pendule sur le piston.

Quand la torpille franchit son plan d'immersion, le pendule agit seul; et, à partir de là, on observe une série de faits analogues :

5° Concordance des deux régulateurs pour abaisser le gouvernail; *amplitude pointe en bas.*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

6° La torpille est horizontale ; le piston agit seul.

7° La torpille s'incline sur le bas ; les deux régulateurs agissent en sens contraire, et on a un *angle d'égalité d'actions pointe en bas*, pour lequel le gouvernail rentre dans son cadre.

8° Le pendule devient *prépondérant pointe en bas*.

En résumé, les effets du piston et du pendule sont de sens contraire quand la torpille tend à se rapprocher de son plan d'immersion ; ils sont de même sens lorsqu'elle s'en éloigne.

Dans un chapitre suivant, nous verrons comment on doit régler les différents organes qui constituent le piston et le pendule suivant l'effet qu'on veut obtenir. Nous allons maintenant étudier les détails de construction de la torpille.

DESCRIPTION DES ORGANES DE LA TORPILLE WHITEHEAD (*)

I. — Cône de charge.

§ 808. **Destination.** — Le cône de charge renferme la matière explosive et le mécanisme percutant. L'inflammation est produite par une capsule contenant du fulminate de mercure, et qui est choquée par un percuteur. L'explosion détermine la détonation d'une charge-amorce de fulmicoton sec renfermée d'une manière étanche dans un tube en laiton. Des gâteaux de fulmicoton humide entourant ce tube constituent la charge de la torpille.

§ 809. **Pointe percutante.** — La pointe percutante (Pl. XXX, fig. 1), en acier, se compose de deux parties principales A et B réunies par un emmanchement circulaire, et retenues par trois vis V. La partie postérieure B, évidée au centre pour le passage du percuteur, se monte directement sur le cône de charge par un taraudage ; une rondelle de cuivre O est interposée pour faire joint entre les deux faces d'appui. Un second taraudage de plus petit diamètre, et faisant saillie, reçoit la boîte d'amorce. La face dressée de ce taraudage présente un évidement *d* pour réserver la place de la tête du détonateur à percussion D.

(*) Afin d'éviter toute confusion entre les différents modèles de torpilles, nous prendrons pour la description des organes le modèle de 1880 comme type ; et nous nous contenterons de signaler les différences principales existant entre ce modèle et les autres.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La portion antérieure A, qui forme la pointe proprement dite de la topille, renferme le percuteur P, dont la partie arrière vient frapper le détonateur D; il est retenu par une goupille en plomb *u*, et une vis limite sa course sur l'avant. Des antennes X très courtes, au nombre de trois, montées sur un même manchon, sont fixées au percuteur par un écrou *e*. Elles peuvent coulisser dans la pièce A, pour guider le percuteur.

§ 810. **Boîte d'amorce**. — Elle est formée d'un tube cylindrique présentant 406^{mm} de long et 0^{mm},3 d'épaisseur. Ce tube est fermé, d'un côté, par un fond épais en laiton *m* sur lequel il est soudé; de l'autre, par un bouchon en caoutchouc R.

Le fond *m*, soudé sur le tube, forme écrou à chapeau, et se visse sur une partie postérieure de la pointe percutante; il porte, en son centre, une douille cylindrique emboutie *d'*, en cuivre rouge de 6^{mm},2 de diamètre intérieur, destinée à recevoir le détonateur D.

Grâce à cette disposition, en dévissant le bouchon de la chambre de charge, on retire la boîte d'amorce, et la torpille devient inoffensive. On peut ainsi charger et décharger sans danger, et mettre le détonateur en place au dernier moment, avant d'introduire la torpille dans son tube de lancement.

§ 811. **Charge-amorce.** — Elle est formée de 7 petits cylindres C de coton-poudre sec pesant ensemble 630^{gr}. Leur diamètre est de 45^{mm}, et leur longueur de 50^{mm}. Le cylindre placé à l'entrée est percé d'un canal pour le logement de la douille d'amorce.

§ 812. **Détonateur à percussion**. — Le détonateur à percussion D (fig. 2), en laiton embouti, a 0^{mm},2 d'épaisseur; il a extérieurement un diamètre de 6^{mm}, et présente à l'avant un rebord plan formant collerette. Il contient une charge de 1^{gr},5 de fulminate de mercure comprimé au balancier, qui est protégée contre l'humidité par une couche de vernis à la gomme-laque colorée au vermillon. A son entrée est placée une capsule à percussion formée d'un godet *g* renfermant une amorce et une enclume *e*. Le godet en laiton *g* s'engage dans l'orifice du détonateur D, et porte un rebord qui prend appui sur la collerette de ce dernier; il est percé au fond d'un trou *o* pour la communication du feu.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'enclume *e* repose directement sur le fond du godet *g*, et est coiffée par l'amorce. Le tout est recouvert et maintenu par une feuille de clinquant K sertie sur les collerettes, et qui garantit l'amorce contre un choc accidentel.

§ 813. **Cartouche.** — La cartouche est représentée figure 3; l'AV est percé d'un trou pour le passage de la boîte d'amorce; l'ÆR est fermé par un couvercle à triple emmanchement à baïonnette muni d'une poignée.

La charge de coton-poudre est composée de gâteaux moulés I, II, III..., XIII (fig. 1), remplissant la cartouche métallique. Ils ont une épaisseur uniforme. Ils sont maintenus par une rondelle circulaire évidée F, en feutre, placée sous le couvercle.

Quand la cartouche est engagée à fond dans le cône de charge, elle y est maintenue par des rondelles de bois et de feutre R, qui s'engagent dans un tube fixé sur la porte de charge ou cloison arrière H du premier compartiment.

Le tableau suivant nous donne les charges pour les torpilles des différents modèles.

§ 814. — **Tableau des charges des torpilles des différents modèles.**

MODÈLES DE TORPILLES	NOMBRE de gâteaux	POIDS EN KILOGRAMMES		
		de coton-poudre sec	d'eau d'humectation à 30 p. 100	total du coton-poudre humide
Modèle 1876. { Petit cône.	XX	17,393	5,217	22,610
Modèle 1876. { Grand cône. . . .	XXII	20,347	6,104	26,451
Modèle 1880 de 5m,80	XIX	27,596	8,278	35,874
Modèle 1877. { Charge humide. .	XIII	10,267	3,080	13,347
Modèle 1877. { Charge sèche. . .	XIV	11,744	»	»
Modèle 1878	XIV	17,322	5,196	22,518
Modèle 1880 de 4m,40.	XII	16,770	4,731	20,501

§ 815. **Verrou de sûreté.** — Cet appareil (fig. 4) a pour but de rendre à volonté la torpille inoffensive en immobilisant le percuteur. Ce système a été supprimé depuis quelque temps. Nous le citons uniquement pour mémoire.

§ 816. **Pointe percutante, modèle actuel.** — Dans ce modèle (fig. 5), le percuteur est formé de trois parties séparées :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

1° La portion antérieure P, qui est munie d'une hélice à quatre ailes avec pas à droite ; sa tige à section carrée est creusée d'une gorge *g* (vue 3). Dans cette gorge vient s'engager l'extrémité d'une vis C′ (vue 1), qui relie P avec le manchon B, en leur laissant la liberté de tourner l'un par rapport à l'autre, ce qui constitue un émerillon.

2° Une pièce filetée A (vue 4), percée suivant son axe, pour le passage de l'arbre de l'hélice, d'un trou à section carrée qui se termine en avant par un évidement circulaire *d*.

3° La pointe percutante E (vue 6), qui, par une goupille de sûreté en plomb, est rendue solidaire de la pièce à double taraudage M (vue 1), constituant l'avant de la torpille.

Le manchon B (vue 5) est fileté dans son intérieur pour recevoir la vis A (vue 1), dont le pas est à gauche ; il peut glisser dans la pièce M, et sa course est limitée par une petite vis C engagée dans une rainure, qui l'empêche en même temps de prendre un mouvement de rotation.

La vue 1 représente la position des différentes parties du mécanisme pendant la manœuvre de la torpille. Le percuteur est rendu inoffensif. Car tout choc reçu par la pointe se transmettrait en entier à la pièce à double taraudage M. L'explosion est donc impossible.

La vue 2 montre le percuteur armé. Un choc reçu à l'avant se transmettrait à l'extrémité arrière E du percuteur, qui n'est maintenue en place que par la goupille de plomb.

Fonctionnement. — Quand la torpille est en marche, l'hélice se met à tourner. Le manchon B est maintenu en arrière par la résistance de l'eau, et il ne peut tourner à cause de la vis C. La rotation de l'hélice se transmet à la vis A, qui descend dans le manchon B jusqu'à ce que son extrémité arrière vienne s'engager dans le logement pratiqué à la tête du percuteur proprement dit E. La rotation de l'hélice continuant, le manchon B avance à son tour jusqu'à ce que l'extrémité de sa rainure bute contre la vis C.

A ce moment la partie carrée de l'arbre de l'hélice se trouve désemparée de l'ouverture à section carrée de la vis A, et elle tourne librement dans l'évidement cylindrique *d*. L'hélice est folle. Dès lors, il suffira d'un choc subi par la pointe pour déterminer l'explosion de la torpille.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En montant le mécanisme, on limite la course de la vis A vers l'avant au moyen d'un petit doigt qui rencontre un ergot fixé au manchon B, de manière à ne jamais entraver le jeu de l'émérillon. A partir de la position ainsi déterminée, 16 ou 17 tours d'hélice suffisent à l'hélice pour qu'elle soit affolée.

II. — Chambre des régulateurs d'immersion.

La chambre des régulateurs d'immersion contient le piston hydrostatique et le pendule dont nous avons développé la théorie § 807.

§ 817. **Piston hydrostatique.** — Le mécanisme du piston (Pl. XXX, fig. 6) est supporté par une cloison *h* placée un peu en arrière de la paroi H qui ferme le cône de charge. Dans l'espace compris entre ces deux cloisons, l'eau est amenée par les orifices *g*, *g*..., pratiqués à la partie inférieure de l'enveloppe de la torpille.

Le piston *a*, en bronze, a la forme d'un disque de $1^{dm},24$ de diamètre, ce qui correspond à une surface de $1^{dmc},2076$; il est placé au centre de la cloison *h*, et est soumis à des pressions qui varient avec le degré d'immersion. Pour 1 mètre de profondeur dans l'eau de mer de densité 1,026, la pression totale est égale à

$$1{,}2076 \times 10 \times 1{,}026 = 12^{ks},390.$$

Le piston est logé dans un chapeau en bronze *b* appliqué par une collerette sur la cloison *h*.

Pour obtenir l'étanchéité de la chambre des régulateurs et assurer à la fois le fonctionnement du piston, on se sert d'une disposition très ingénieuse. Une couronne en caoutchouc mince *c* se fixe d'une part sur le piston hydrostatique *a*, au moyen d'un anneau *d* et de six boulons; d'autre part, elle est attachée à la cloison support par un anneau *f*, et dix petits boulons qui servent à fixer en même temps le chapeau *b* sur la cloison *h*.

Pour faire équilibre à la pression de l'eau, le piston hydrostatique est actionné par des ressorts antagonistes disposés de la manière suivante :

Au centre du piston est emmanchée à frottement doux une pièce cylindrique en bronze *o* à angles arrondis, et venant porter contre ce piston; on la nomme *écrou de la vis de tension*. A l'in-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

térieur de cette pièce, percée sur toute sa longueur, se visse une tige K, dont la tête s'encastre en *m* dans la pièce L. Celle-ci se compose de trois branches placées à 120° les unes des autres (vue 2). Sur chaque branche s'attache l'extrémité d'un ressort R croché par l'autre bout sur un piton que porte le chapeau fixe *b* du piston.

Pour guider l'ensemble des trois ressorts, la branche verticale est prolongée par un appendice L′ en forme de fourche embrassant le tube-guide *n*, qui, dans les anciens modèles, servait en même temps à contenir la tige du verrou de sûreté (§ 815) supprimé maintenant. Les ressorts en fil d'acier ont des flexions sensiblement proportionnelles aux pressions supportées. Cette tension est comprise entre 25 et 30^{mm} d'allongement pour un mètre de profondeur. D'après la disposition que nous venons d'indiquer, on voit que les trois ressorts R exercent une traction sur la pièce L, qui la transmet à la vis K et au piston par l'intermédiaire de l'écrou *o*. Ce dernier passe dans un guide de bronze *p*, qui se visse dans un tube en fer *q* fixé lui-même sur le chapeau *b* au moyen d'une douille filetée.

Le long écrou *o* se trouve ainsi guidé ; et de plus ses mouvements sont limités par un épaulement *r*, qui porte d'un côté contre le chapeau *b* et de l'autre côté contre un butoir S ménagé dans la douille du chapeau. La course du piston est donc limitée à l'AV et à l'AR.

Le creux de l'écrou *o* porte à l'avant un rétrécissement carré destiné à recevoir une clef de manœuvre servant à régler la tension des ressorts. Si, en effet, la clef étant en place, on tourne à visser, la vis K sort d'une certaine quantité qui produit un allongement des ressorts dont la réaction devient plus forte. Si, tout en manœuvrant la clef, on l'appuie contre la vis K, cette clef s'enfoncera dans l'écrou *o*, à mesure que la vis K sortira. La quantité dont la clef s'enfoncera sera proportionnelle à la tension que l'on donnera aux ressorts, et fournira ainsi une indication sur le réglage. Aussi porte-t-elle sur un de ses côtés une graduation marquée 1^{m},50, 2^{m}....., 4^{m},60, indiquant les différentes immersions.

Pour se servir de cette clef, il faut dévisser un écrou *t*, qui, au moyen d'une rondelle en caoutchouc, empêche l'eau de pénétrer dans le creux de l'écrou. Cette opération n'est possible que si on enlève le cône de charge.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

L'avantage de ce système est d'avoir un compartiment des régulateurs bien étanche. Quant à l'obligation d'enlever le cône de charge, elle ne présente pas un grand inconvénient. Car, avant leur lancement, les torpilles sont toujours conservées décoiffées de ce compartiment.

En résumé, lorsqu'on voudra atteindre une immersion de 3 mètres, par exemple, il faudra commencer par donner aux ressorts une tension correspondante au moyen de la clef.

Les ressorts étant ainsi réglés, si la torpille atteint son immersion de 3 mètres, le piston hydrostatique reste en équilibre à mi-course. Si la torpille n'arrive pas à la profondeur voulue, la réaction des ressorts est supérieure à la pression de la colonne d'eau, et le piston hydrostatique vient sur l'avant. Quand l'immersion dépasse 3 mètres, la pression de la colonne d'eau est supérieure à la tension des ressorts, et le piston hydrostatique se porte sur l'arrière. L'amptitude de ses mouvements est très faible; elle est de 2^{mm} environ dans ce modèle, et atteint au plus 3^{mm} dans le modèle 1876.

§ 818. **Pendule**. — Le pendule (Pl. XXX, fig. 6) se compose d'un bloc en fonte E, portant des évidements F dans lesquels on coule du plomb, de manière que le centre de gravité de la masse soit sur le prolongement de l'axe de suspension. Ce bloc est suspendu à l'extrémité d'un étrier double O′ au moyen de vis m''. Les deux branches de l'étrier O′ oscillent sur des couteaux n' fixés à l'enveloppe de la torpille.

Pour modérer les mouvements du pendule, celui-ci est muni de deux tampons à ressort L″ venant porter contre des butoirs fixes en bronze m'. Chaque tampon est placé à l'extrémité d'une tige guidée en g' et K′, comme l'indique la figure. Un ressort h' se trouve serré entre la portée g' et l'écrou I. Ce dernier est muni à sa partie supérieure d'un ergot qui glisse dans une rainure du bloc, et il est destiné à donner au ressort la tension voulue.

Les deux tampons servent d'abord à empêcher le pendule de venir battre avec force contre les butoirs. Ils ont encore une autre fonction très importante, c'est de régler l'action du pendule, action qui très souvent ne doit pas être identique pour une même inclinaison soit sur l'avant, soit sur l'arrière.

La tension des ressorts est calculée de manière que le pendule

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

n'appuie entièrement sur ses butoirs que lorsque l'axe de la torpille s'est incliné sur l'horizontale de 1° à 1°30′.

§ 819. **Transmission de mouvement**. — Connaissant le jeu du piston hydrostatique et du pendule, nous allons voir comment ces deux appareils sont reliés entre eux, et de quelle manière leur mouvement est transmis au gouvernail horizontal. Le piston hydrostatique porte une douille *e* (fig. 6, vue 1), qui traverse le chapeau *b*, et sur laquelle est vissée la tige X du piston. Cette tige vient s'articuler en Y sur un levier L‴, pouvant osciller autour d'un axe Z fixé sur le pendule P.

La transmission se continue par les tiges *b‴* et *b′*, dont les mouvements résultent de la combinaison des déplacements du pendule et du piston.

Nous verrons plus tard que, dans la première partie du parcours de la torpille, on immobilise le gouvernail horizontal. Mais, pendant ce temps, le piston hydrostatique et le pendule n'en fonctionnent pas moins.

Pour éviter de fausser les tringles qui transmettent les mouvements de ces organes au gouvernail horizontal, il a fallu donner à la tige X du piston une disposition qui lui permette de s'allonger ou de se raccourcir suivant le cas. Ce résultat est obtenu de la manière suivante. La tige X est en deux parties : elle comprend une douille et une tringle *u* à l'intérieur de cette douille. Ces deux pièces gardent la même position relative au moyen des ressorts *r′*, *r″* et d'une goupille : celle-ci traverse la tringle et la douille pourvue à cet effet de rainures, et vient porter contre les ressorts. Ces derniers offrent assez de résistance pour ne pas céder sous l'effort nécessaire au fonctionnement normal du gouvernail; mais si celui-ci est immobilisé, l'un des ressorts *r′* ou *r″* fléchissant, permet un allongement ou un raccourcissement de l'ensemble de la tige du piston.

La tige *b′*, sortant de la chambre des régulateurs, traverse le réservoir à air comprimé, dont nous parlerons plus loin; mais ces deux compartiments, étant susceptibles d'être séparés l'un de l'autre, exigent une disposition particulière de la transmission.

Dans ce but, une boîte étanche B′ est vissée sur la porte de visite P′ de la chambre des régulateurs d'immersion. Cette boîte B′ (vue 3) contient un axe *a′* sur lequel sont fixées

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

deux manivelles parallèles : l'une r à l'intérieur, l'autre S à l'extérieur.

La transmission complète comprend trois parties :

1° La bielle à crochet b''' qui, se terminant par un crochet en forme de mâchoire, vient se capeler à l'extrémité du bras extérieur S ;

2° Les deux manivelles r et S ;

3° La tige b' de transmission proprement dite.

Cette disposition assure le passage étanche de la tige b' à travers la cloison ; un presse-étoupe ordinaire ne pourrait être employé, car les frottements qu'il produirait paralyseraient les effets du pendule.

La bielle à crochet b''' s'enclanche sur le bouton de la manivelle S au moyen d'une tige de suspension c' ; celle-ci est articulée à la bielle, et on la manœuvre avec une douille d' goupillée sur une vis qui traverse la paroi du compartiment.

Nous verrons plus tard de quelle manière la tige b' est reliée au gouvernail.

§ 820. **Chambre des régulateurs dans les autres modèles.** — *Modèle* 1876. — Le diamètre du piston hydrostatique dans le modèle 1876 n'est que de $1^{dcm},22$; la surface est donc de $1^{dcmc},17$. La pression totale pour 1^{m} de profondeur est 12^{kg}.

Il n'y a qu'un ressort antagoniste placé concentriquement à l'axe du piston. Il se compose de trois fils d'acier placés côte à côte et enroulés en même temps. Ce ressort a plus de longueur que ceux des autres modèles ; il en résulte que la chambre des régulateurs est plus longue que dans les autres types.

Ce modèle comporte un *indicateur de profondeur*. Celui-ci se compose d'un tambour gradué, qui, par une transmission convenable, reçoit son mouvement d'un pignon fixé sur l'écrou de la vis de tension.

Cette disposition permet, sans rien démonter, de connaître et de modifier au besoin le réglage du ressort. Le tambour gradué vient, en effet, affleurer l'enveloppe de la torpille à l'extérieur, et permet ainsi de lire ses graduations. Avec une clef, que l'on engage dans une douille, on actionne l'écrou de la vis de tension, et l'on modifie la tension des ressorts.

L'axe de rotation o (fig. 206) du levier sur le pendule, est situé

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

entre l'articulation B de la tige *t* du piston et celle de la tige *b* de transmission au gouvernail. Le diaphragme en caoutchouc est pincé entre la cloison-support et le chapeau du piston hydrostatique ; ce qui exige le démontage de tous les organes qui sont dans la chambre secrète, lorsqu'on veut changer ce diaphragme. Le système que nous avons étudié sur le modèle 1880 ne présente pas cet inconvénient.

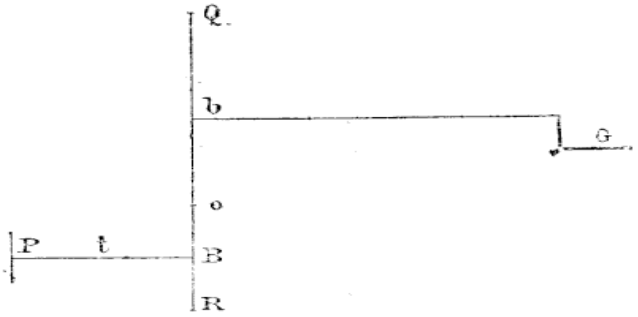


Fig. 206.

Modèle 1877. — Ce modèle comporte trois ressorts, comme celui de 1880, et un indicateur de profondeur qui diffère par quelques détails seulement de celui de 1876.

Modèle 1878. — La chambre est absolument la même que celle du modèle 1880. Elle ne comporte pas d'indicateur de profondeur.

Dans les modèles 1877, 1878, le levier B*ob* est articulé sur le pendule par son extrémité inférieure comme dans le type de 1880.

III. — Réservoir à air comprimé.

§ 821. **Mode de construction du réservoir.** — Le réservoir à air comprimé est un cylindre A en acier, aux extrémités duquel sont vissés deux fonds de même métal B, B′ (Pl. XXXI, fig. 1.)

Le cylindre, fondu sous forme de tube, est ensuite forgé sur un mandrin. Les fonds sont emboutis au pilon. Ces pièces sont ajustées au tour et assemblées comme l'indique la figure. Une fois le cylindre terminé, l'épaisseur des parois est de 8^{mm} au milieu, et de $7^{mm},5$ aux extrémités ; celle des fonds est de 9^{mm}.

Pour assurer l'étanchéité des joints, les filets sont étamés de part et d'autre, et le montage se fait à chaud, en ayant soin de chauffer un peu plus l'enveloppe que le fond. Ce dernier étant vissé à poste, on coule un glacis d'étain *a* à la naissance des filets ; et, pour augmenter encore la solidité, vingt-quatre vis de jonction *b* sont placées sur le pourtour et mâtées avec soin.

Un tube-guide en acier D traverse le réservoir de part en part.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Il est destiné à contenir la tige de transmission *ch* des régulateurs d'immersion. Les extrémités du tube sont vissées dans le fond du réservoir. Après avoir pris les précautions voulues pour que les trous en regard sur chaque fond aient bien le même axe et que leurs filets se correspondent, on étame ces filets, ainsi que ceux du tube, dont on chauffe ensuite la partie milieu jusqu'au rouge sombre. On met alors le tube en place ; et, s'il y a quelque dérangement dans la position voulue des filetages des deux extrémités, il est corrigé par la torsion ou l'allongement que peut prendre alors le tube : celui-ci, une fois à poste, se contracte en se refroidissant, et se trouve en tous cas bien dressé sur toute sa longueur. On coule ensuite de l'étain, de manière à bien souder la partie filetée et à laisser un petit bourrelet à la jonction du tube avec les fonds.

§ 822. **Pression**. — Les épreuves de résistance se font à une pression de 105 atmosphères, au moyen d'huile de lin litharginée (protoxyde de plomb) ; cette huile pénètre dans les pores distendus du métal, et forme à l'intérieur une couche de vernis imperméable très solide qui annihile presque complètement les pertes d'air du réservoir chargé. Dans cette épreuve, on fait toucher les centres des fonds et le pourtour de la section milieu par les bouts de quatre aiguilles de flexion, qui marquent sur un cadran indicateur, en les amplifiant dans le rapport de 1 à 20, les flexions du métal sous l'action de la pompe de compression. On ne maintient la pression de 105 atmosphères que pendant le temps voulu pour pouvoir lire la flexion sur les indicateurs.

Sous ladite pression, l'augmentation de longueur du réservoir est de $1^{mm},2$ environ, et celle du diamètre du pourtour ne dépasse pas $0^{mm},3$. Pour que le réservoir soit accepté, il faut que les aiguilles indicatrices reviennent au *o* du cadran aussitôt que la pression intérieure du réservoir est ramenée à la pression atmosphérique. Depuis longtemps qu'on en fait usage, l'épreuve à l'huile réussit toujours ; les flexions sont sensiblement les mêmes pour toutes les torpilles, ce qui dénote une homogénéité presque parfaite du métal.

L'épreuve d'étanchéité pour l'air se fait à la pression de 70 atmosphères, et la perte de pression ne doit pas dépasser 6 atmosphères au bout de quatre heures. Dans la pratique, cette perte n'a jamais atteint plus d'une demi-atmosphère. Quand on

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

charge la torpille au soleil, il faut avoir soin d'entourer le réservoir à air de linges mouillés, pour éviter l'élévation de température du métal. Sans cette précaution, on s'expose à trouver un abaissement de 3 à 4^{atm} quand la température baissera.

Voici les données relatives à chaque modèle :

DÉSIGNATION	POIDS du réservoir	VOLUME	POIDS D'AIR comprimé
	kg.	litres	kg.
Modèle 1876.	154,0	180	16,0
Modèle 1877.	116,8	128	11,0
Modèle 1878.	120,0	140	12,0
Modèle 1880 (4^m,4)	124,0	147	12,7
Modèle 1880 (5^m,8)	191,5	215	19,0

Sur le fond arrière du réservoir se fixe une tubulure F, dite *tuyau de chargement*, qui fait communiquer le réservoir avec la boîte des soupapes dont le rôle sera décrit plus loin (§ 824). Ce tuyau est la seule ouverture qui communique avec l'intérieur du réservoir à air.

Les extrémités du cylindre A, appelées *lèvres de jonction*, sont disposées pour servir d'emmanchement au flotteur arrière et à la chambre du régulateur ; seize vis *t* à tête fraisée assurent chaque joint. Les armatures *g*G, placées aux extrémités d'un diamètre horizontal, servent à consolider par des boulons et des griffes la jonction du flotteur Æ avec le réservoir.

IV. — Cône arrière, et machine motrice.

§ 823. **Composition et mode de fixation du cône arrière.** — Ce cône (Pl. XXXI, fig. 2) comprend : 1° la *chambre des machines ;* 2° le *flotteur arrière*.

Il est fixé par emboîtement au moyen de seize vis sur le fond Æ du réservoir d'air. La tôle du cône est renforcée par une bague *n*, et une série de couronnes 1. Il existe ensuite une cornière *b* soudée et rivée, et portant seize prisonniers à écrou ; sur cette cornière se fixe la cloison support *a* de la machine. Le joint est rendu étanche par une rondelle de caoutchouc.

A l'arrière, le compartiment qui nous occupe est fermé par une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

cloison c' rivée et soudée, au centre de laquelle passe dans un presse-étoupe le tube-guide d de l'arbre moteur; ce tube est fixé à la cloison a à l'aide de la tubulure filetée a' et de la bague d'.

Le compartiment des engrenages se visse sur une partie filetée c venue de fonte avec la cloison c'.

La chambre des machines renferme la machine motrice, la boîte des soupapes, le régulateur de pression de la machine, le servo-moteur, l'appareil de submersion et le mécanisme d'immobilisation du GH. Nous allons passer en revue chacun de ces appareils.

§ 824. **Boîte des soupapes** (Pl. XXXI, fig. 3). — L'air comprimé du réservoir n'arrive à la machine motrice qu'après avoir traversé la *boîte des soupapes* qui renferme : 1° la soupape de chargement C du réservoir, dont le nom indique la fonction ; 2° la soupape de prise d'air d de la machine motrice, qui remplit en même temps l'office de registre. Voici la légende des diverses pièces du mécanisme :

A	Tuyau de communication des soupapes C et d avec le réservoir à air; ce tuyau va se relier à la tubulure F de la fig. 1.
B	boîte en bronze renfermant les soupapes; elle est fixée à la cloison-support de la machine et à l'enveloppe extérieure de la torpille.
E	écrou de fixation de la boîte sur la cloison support.
D	bride de l'ensemble de la boîte servant à la rattacher à l'enveloppe.
C	soupape de chargement verticale, maintenue sur son siège par un ressort à hélice r d'une tension de deux atmosphères, et mettant en communication par son haut le réservoir d'air avec le tuyau de refoulement d'air de la machine de compression.
d	soupape de prise d'air horizontale, maintenue fermée par un ressort r' d'une tension de deux atmosphères. Lorsque le réservoir est chargé, la pression de son air s'ajoute à celle du ressort.
C′	came fixée à un axe horizontal O manœuvré par le levier l : cette came, en venant appuyer sur la partie g de la soupape d, force celle-ci à s'ouvrir malgré la pression de l'air du réservoir et celle du ressort r'.
b	bouchon de sûreté que l'on visse en place lorsque le réservoir est chargé.
g	ressort qui maintient le levier l dans la position de fermeture ou d'ouverture.
T	tuyau de communication avec le régulateur de pression.

Fonctionnement. — Lorsqu'on veut charger le réservoir, on visse, au lieu du bouchon b, un raccord placé à l'extrémité du tuyau de refoulement, qui s'embranche sur l'accumulateur de compression que nous étudierons plus tard; ce raccord porte un téton qui ouvre la soupape C quand on le met en place. Celle-ci se referme lorsque le chargement est terminé, et elle tient l'air emprisonné.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 825. **Régulateur de pression de la machine motrice.** — Cet appareil sert à maintenir constante la pression de l'air sous les pistons de la machine motrice, bien que, dans le réservoir, elle aille toujours en diminuant. Il est accolé à la cloison-support de la machine (§ 823).

L'air du réservoir, après avoir traversé la soupape de prise d'air, dont l'ouverture se fait dans des conditions que nous indiquerons plus tard (§ 843), passe par le régulateur représenté sur la figure 4 (Pl. XXX), dont voici la légende :

T tuyau d'arrivée d'air dans le régulateur : ce tuyau part de la boîte des soupapes; il rentre, pour faciliter son parcours, dans le flotteur arrière et en ressort pour déboucher dans la tubulure a, à travers laquelle il communique avec le cylindre C.

p piston creux en bronze ajusté aussi exactement que possible dans le cylindre C de même métal. Le piston porte trois rangées d'orifices e' de $3^{mm},5$ de hauteur, en communication avec des orifices e de $2^{mm},5$ pratiqués dans le cylindre. Au repos, les orifices du piston doivent déborder de 1/2 millimètre, en dessus et en dessous, ceux du cylindre, qui se trouvent alors ouverts en grand; on obtient ce résultat en intercalant une rondelle de cuir entre le bouchon O et le cylindre.

t axe en fer qui appuie sur le piston p sous la pression d'un ressort r. Celui-ci porte sur une embase S de l'axe t. Le dessus du piston est creusé d'une cavité tronconique au fond de laquelle vient se loger la partie inférieure de la tige t terminée en goutte de suif. Au repos, la distance de la tige t au piston p est de 1/2 millimètre; de sorte qu'à l'arrivée de l'air sous le piston, ce dernier monte de cette quantité avant de buter contre la tige t. Quand ce contact a lieu, la différence qui existe entre les orifices du piston ($3^{mm},5$) et ceux du cylindre ($2^{mm},5$), fait que les orifices du cylindre sont encore ouverts en grand.

J écrou de tension du ressort r, servant en même temps de guide à l'axe t.

K boîte en bronze vissée sur le cylindre C, et renfermant le ressort r.

m réservoir d'huile, en communication avec la boîte des soupapes par le tuyau f, qui se raccorde sur le tuyau d. L'huile vient se loger dans les rainures n pratiquées sur le cylindre C, de manière à assurer l'étanchéité du piston p; elle est introduite par le haut du tuyau d, qui se ferme au moyen d'une vis V. Lorsque la soupape de prise d'air est ouverte, l'air comprimé s'introduit par les conduits f et d dans le réservoir m, et maintient par sa pression les rainures n toujours pleines d'huile. On évite ainsi des fuites certaines à une pression de 70 atmosphères. La dépense d'huile n'a lieu que lorsque la machine fonctionne.

R réservoir d'air intermédiaire, placé à l'entrée du cylindre régulateur, avec lequel il communique; il a pour but d'éviter les variations de pression qui se produiraient pendant le fonctionnement, et fatigueraient le ressort r par des battements précipités du piston p. Son volume est une fois et demie celui d'un cylindre moteur. Il est traversé par la tubulure a, dans laquelle passe l'air qui se rend de la boîte des soupapes au cylindre. Cette tubulure vissée puis soudée dans le cylindre auxiliaire sert en même temps à fixer le régulateur de pression contre la cloison-support de la machine.

X tuyau amenant l'air à la machine motrice, après son passage au travers du régulateur.

Fonctionnement. — L'air afflue constamment dans les orifices

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

du cylindre ; il passe à l'intérieur du piston, si les orifices se correspondent, puis il se rend dans le réservoir R, et de là à la machine.

Lorsque la tension moyenne du ressort est réglée à 30^{atm}, les orifices restent ouverts tant que cette pression n'est pas dépassée ; mais, dans le cas contraire, le ressort cède, et le piston en montant ferme plus ou moins les orifices. Il s'établit ainsi un état d'équilibre, et la machine motrice reçoit l'air à la pression moyenne fixée. Si la machine ne stoppe pas au bout d'un temps voulu, la pression du réservoir d'air diminuant de plus en plus, il arrive un instant où la tension du ressort devient supérieure à celle de l'air qui reste dans le réservoir ; à partir de là, les orifices du piston restent ouverts en grand, et la machine continue à tourner, en diminuant graduellement de vitesse jusqu'à épuisement complet de l'air du réservoir.

On peut régler la tension du ressort, sans rien démonter, en passant une clef par un trou pratiqué à travers l'enveloppe de la torpille.

La pression de l'air qui s'introduit dans la machine est de 24^{atm} pour un parcours de 400^{m} dans les torpilles modèle 1880.

Dans celles de 1877, la pression est de 27^{atm} ; elle est de 28 dans celles de 1878.

§ 826. **Machine Brotherood.** — Dans les modèles anciens, le moteur en usage était la machine Brotherood.

Dans les torpilles de $4^{m},40$ et de $5^{m},75$, modèle 1880, on se sert de la machine Whitehead.

Voici la légende des pièces composant le Brotherood (Pl. XXXI, fig. 5) :

C, C, C cylindres au nombre de trois, venus de fonte avec un bâti circulaire qui leur sert de chambre d'évacuation ; ces cylindres sont en fonte ou en bronze. Leurs axes sont en éventail, chacun à 120° l'un de l'autre.

p, p, p pistons à fourreau portant trois garnitures suédoises.

B, B, B bielles en acier articulées sur la même soie de manivelle.

t, t, t têtes de bielles (vue 2). La première est simple ; la seconde forme une chape qui embrasse la tête de la première ; et la troisième une chape qui embrasse les têtes des deux autres.

a, a, a pieds de bielles. Les bielles étant à simple effet, la portée principale se fait sur une partie arrondie qui termine la bielle. Les pieds oscillent dans des coussinets en bronze phosphoreux fixés au fond de chaque fourreau. Les axes qui les traversent ne supportent aucun effort ; ils empêchent les pieds de bielles de se désemparer quand on vire la machine à la main.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

M plateau des orifices, rapporté par des vis sur la face N des cylindres. Il porte à son centre une partie parfaitement plane percée de trois orifices Z, Z, Z (vue 4), que trois tubulures Z′ de même coulée que le plateau mettent en communication avec le fond de chaque cylindre.

L, L, L réservoirs placés sur les tubulures Z′, et destinés à recevoir l'eau qui s'introduit dans les cylindres à travers le creux de l'arbre moteur, pendant les lancements au tube-carcasse. Cette disposition empêche la rupture des fonds des cylindres; mais, en augmentant les espaces neutres, elle occasionne une dépense supplémentaire de 8 à 10 p. 100 d'air comprimé.

T tiroir ayant la forme d'une calotte sphérique. Il comporte deux orifices : l'un *a* (vue 3), qui le traverse de part en part, sert à l'introduction; l'autre *b*, beaucoup plus grand et débouchant à l'intérieur de la coquille, sert à l'évacuation. Le tiroir, encastré à frottement sur une partie carrée *m*, placée à l'extrémité de l'arbre moteur, participe à son mouvement de rotation ; ses orifices d'introduction et d'évacuation viennent se présenter successivement devant ceux du plateau des orifices. Il fonctionne comme un tiroir en coquille, et il est appliqué par la pression de l'air sur la glace des cylindres. L'orifice d'introduction est prolongé sur la face frottante par une rainure *a′* très peu profonde qui détermine une fuite souvent nécessaire pour la mise en marche. Il faut, en effet, pour que la mise en marche soit assurée, qu'il y ait toujours introduction dans l'un des cylindres et même dans deux à la fois, quand l'un d'eux est au point mort bas. Grâce à cette fuite, un des cylindres est toujours en communication avec l'air comprimé. En marche normale, le peu d'air qui passe par là est insignifiant ; il sert d'ailleurs à la propulsion.

E boîte à tiroir.

A arbre moteur, supporté à l'avant par le plateau des orifices M sur un coussinet I, et à l'arrière par son tube-enveloppe X. Cet arbre, formé d'un tube en acier, débouche dans l'intérieur de la chambre des cylindres en *c*, et met ce compartiment, ainsi que l'intérieur de la coquille, en communication avec l'extérieur à l'arrière des gouvernails; la pression d'évacuation favorise ainsi la marche par son refoulement contre l'eau.

Le graissage des pistons se fait par trois trous percés dans les fonds des cylindres ; et celui du tiroir par quatre petits orifices qui le traversent.

Fonctionnement. — L'air comprimé arrive dans la boîte à tiroir E; il est distribué par la rotation du tiroir unique à chacun des cylindres, et s'évacue par l'intérieur de l'arbre A, à l'arrière des gouvernails.

§ 827. **Données principales des machines Brotherood.**

	MODÈLE 1876	MODÈLE 1877	MODÈLE 1878
Diamètre des cylindres.	0m,089	0m,076	0m,076
Course des pistons.	0m,070	0m,063	0m,063
Pression de régime.	28 à 30atm	27atm	28atm
Nombre de tours à la minute	900	900	900

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 828. **Machine Whitehead**. — Dans cette machine (Pl. XXXII, fig. 1), il y a un tiroir pour chaque cylindre, et ils sont actionnés tous les trois par une came unique. Les axes des cylindres sont encore en éventail, à 120° l'un de l'autre ; et leurs boîtes à tiroir, placées sur l'avant, ont leurs axes parallèles à ceux des cylindres.

Chaque boîte à tiroir porte une chemise en bronze C, percée de trous O, O, qui aboutissent dans un évidement circulaire E, communiquant avec le bas du cylindre. Le couvercle D du tiroir est situé en bas et muni d'une tubulure *m*, sur laquelle se raccorde par côté le tuyau d'arrivée d'air et qui est fermée en bas par une calotte S. Les pistons n'ont qu'une garniture ; la gorge inférieure se remplit d'huile.

Le coussinet K de la tête de bielle a toute la longueur de la soie de la manivelle, mais ne l'embrasse que sur un arc de 90°. Les bords du coussinet sont amincis sur l'avant et sur l'arrière, et viennent se loger dans des gorges *g*, *g*.

Le tiroir en bronze est formé par une barrette cylindrique T, portant quatre ailerons qui lui servent de guides. L'introduction se fait par l'arête du bas ; et l'évacuation par celle du haut, dans l'espace compris entre les ailerons. La tige du tiroir est formée de deux parties vissées l'une dans l'autre, et goupillées après que la longueur de l'ensemble est réglée. L'extrémité supérieure de cette tige porte une chape, munie d'un galet X, qui roule contre une came *f* clavetée sur l'arbre ; la came a trois courbures (vue 3) : la plus rapprochée du centre correspond à l'admission, la plus éloignée à l'évacuation, et la troisième à la détente. L'air comprimé, appuyant constamment sous la face inférieure de la barrette du tiroir, maintient le galet contre la came et le tiroir contre l'extrémité inférieure de sa tige.

La manivelle arrière porte, à l'opposé de la soie, un contre-poids *q*, qui fait corps avec les deux manivelles M, M'. Le pied de bielle, terminé en rotule, est relié au piston par deux coussinets en bronze phosphoreux : celui du bas *b* est fixé à demeure au piston ; celui du haut *a* est muni de deux trous pour les tenons de la clef de manœuvre.

La chambre d'évacuation est fermée à l'avant par un plateau en fonte R, au centre duquel est vissé un bouchon en acier *d*, destiné à former butée sur le bout avant de l'arbre. L'arrivée de l'air comprimé a lieu séparément dans chaque boîte à tiroir par des tubulures greffées sur un tuyau commun.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le diamètre des cylindres est 83^{mm}, et la course des pistons 70^{mm}.

§ 829. **Données principales des machines Whitehead.**

	TORPILLES MODÈLE 1880	
	de $4^{m},40$	de $5^{m},75$
Diamètre des cylindres	$0^{m},083$	$0^{m},092$
Course des pistons	$0^{m},070$	$0^{m},076$
Pression de régime	22^{atm}	$34^{atm},39$
Nombre de tours d'hélice	900	900

§ 830. **Puissance du moteur des torpilles automobiles des différents modèles.** — Pour calculer cette puissance, on tient compte de la régulation donnée aux différents moteurs, et on prend comme pression de régime :

de 28 à 30 atmosphères pour le modèle 1876
27 — — 1877
28 — — 1878
24 — — 1880 de $4^{m},40$
34,39 — — 1880 de $5^{m},75$.

Alors, dans la formule $\frac{AD^2CNP^{kg}}{0,28647 \times 2}$, exprimant la force en chevaux de 75^{kgm}, on remplace les lettres par leurs valeurs respectives consignées dans le tableau suivant, et on obtient la force approximative développée sur les pistons.

	MACHINES BROTHEROOD			MACHINES WHITEHEAD Modèle 1880	
	1876	1877	1878	de $4^{m},40$	de $5^{m},75$
Valeur de A. Nombre de cylindres	3	3	3	3	3
— D. Diamètre des cylindres	$0^{m},089$	$0^{m},076$	$0^{m},076$	$0^{m},083$	$0^{m},092$
— C. Course	$0^{m},070$	$0^{m},063$	$0^{m},063$	$0^{m},070$	$0^{m},076$
— N. Nombre de tours	900	900	900	900	900
— P. Pression (P est donné en kilogr. par cm^c)	$20^{kg},000$	$19^{kg},987$	$20^{kg},843$	$16^{kg},300$	$15^{kg},512$
Force en chevaux	50	34	35	37	47

NOTA. — Dans la détermination de la valeur de P en kilogr., on a pris 4^{atm} pour la contre-pression des grandes torpilles fonctionnant à 34^{atm} environ ; et 3^{atm} pour celles de $4^{m},40$ fonctionnant à une pression moindre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 831. **Servo-moteur.** — Cet appareil sert à transmettre au gouvernail les mouvements des régulateurs de pression. En se servant de tringles comme organes de transmission, on obtiendrait des effets insuffisants. Le servo-moteur emprunte sa force motrice à l'air comprimé, et les régulateurs n'ont plus, dès lors, qu'à manœuvrer le tiroir de cet appareil, ce qui exige très peu d'effort. On peut ainsi accroître l'effet produit, et l'on obtient en même temps une certaine élasticité et une grande sensibilité dans la transmission de mouvement. Le servo-moteur est représenté Pl. XXXII, fig. 2.

Il se compose d'un cylindre en bronze C fixé par deux colonnes *f* à la cloison-support M de la machine ; il porte à sa partie inférieure une tubulure E, sur laquelle se raccorde le tuyau d'arrivée d'air comprimé. Des bouchons à vis *d*, *d* munis de presse-étoupes ferment le cylindre, et livrent passage à la tige et à la contre-tige du piston P. A la partie inférieure *N* du cylindre est une oreille supportant le levier coudé J du tiroir, qui est actionné par la bielle I et la transmission de mouvement *h* des régulateurs de pression, comme nous le verrons plus tard (§ 833).

Dans l'axe du piston P, et sur toute sa longueur, est pratiqué un trou qui sert de boîte au tiroir T. Le pourtour du piston est muni de trois gorges. Celles des deux extrémités x', x'' contiennent des garnitures destinées à assurer l'étanchéité du piston; elles sont formées avec un fil de coton enduit d'un mélange d'huile et de graisse de mouton. La gorge du milieu *x* reçoit l'air amené par le tuyau E. Sa longueur est calculée de façon à ce qu'elle soit toujours en communication avec l'orifice du tuyau E quand le piston arrive à ses deux bouts de course.

Dans les torpilles de 5^{m},75, M^{le} 1880, le piston (fig. 2, vue 2) ne possède qu'une seule gorge au milieu pour la circulation de l'air, et les garnitures n'existent plus.

A travers le corps du piston sont percés obliquement deux conduits latéraux Z, Z′ (vue 1) ; ils font communiquer l'intérieur de la gorge *x* avec l'intervalle des barrettes b', b'' du tiroir, qui peut ainsi recevoir l'air sur ses arêtes intérieures.

Dans le corps du piston sont percés deux orifices *c*, c', respectivement en forme d'équerre, et disposés de manière que la barrette b'' de la droite du tiroir desserve l'extrémité gauche du cylindre, et b' celle de droite.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La transmission B^2 du gouvernail est réunie au piston P au moyen d'une douille taraudée, qui est fixée à demeure au bout de la tige B de ce dernier.

Le tiroir T (vue 3) est en bronze; il est formé d'une tige carrée présentant deux renflements cylindriques b', b'', qui ont pour diamètre la diagonale même du carré, soit 5^{mm}. Une petite bielle b réunit le tiroir à la branche verticale du levier coudé J; deux collets placés sur la bielle servent à limiter la course. Cette bielle b passe à travers un écrou e formé de deux pièces, et vissé dans l'extrémité avant de la contre-tige du piston. Comme les collets présentent un diamètre supérieur à l'évidement de l'écrou, ils viennent buter contre ce dernier dans les mouvements alternatifs de la bielle, et le trou de l'écrou est assez grand pour permettre les oscillations de celle-ci.

Si le tiroir T se déplace dans un certain sens, on voit que le piston P doit exécuter le même déplacement dans le même sens. Supposons, en effet, que le tiroir se meuve de gauche à droite, ses barrettes mettent l'orifice c à l'évacuation, et l'orifice c' à l'admission. L'air à forte pression vient alors agir sur la face de gauche du piston; en même temps l'air contenu à droite s'échappant à travers l'écrou e passe dans la chambre des machines, d'où il s'écoule à la mer par le creux de l'arbre moteur. De ces deux actions il résulte que le piston est obligé de suivre le mouvement du tiroir. Au premier moment celui-ci reste immobile dans la position que lui donnent les régulateurs; quant au piston, poussé par l'air, il continue sa marche vers la droite, jusqu'au moment où il provoque une ouverture des orifices inverse à celle qui a produit le mouvement. L'air comprimé arrive alors par l'orifice c sur la face droite du piston; tandis que l'air contenu à gauche s'échappe à son tour par l'orifice c', et ensuite par des conduits obliques percés dans la tige B.

Ainsi, le piston, après qu'il a un peu dépassé le point indiqué par le tiroir, se trouve, par son fonctionnement même ramené en arrière; et après plusieurs oscillations qui diminuent de plus en plus d'intensité, ses orifices viennent se placer en regard des barrettes du tiroir, dans la même position qu'avant le déplacement de ce dernier. On voit donc que le piston obéit toujours au tiroir quels que soient le sens du mouvement et l'amplitude des oscillations.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 832. **Dimensions principales des servo-moteurs**

Tiroir	Course	de 3 à 4 mm
	Diamètre	5 mm
Piston	Diamètre du piston	25 mm
	Diamètre de la tige	10 mm
	Surface annulaire	4 cm2,12
	Course	13 mm
Effort transmis par le piston	à 35 at	148 kg
	à 30 at	127 kg
	à 28 at	118 kg
	à 27 at	114 kg
	à 24 at	101 kg
	à 20 at	82 kg,40

Pour faire remonter la torpille à la surface, aussitôt le stoppage effectué, on a placé un ressort de rappel A sur l'arrière de la tige du piston du servo-moteur. Ce ressort s'appuie d'un côté sur la cloison-support M de la machine; de l'autre, sur une embase que porte la tige B de transmission au gouvernail. Il ramène le piston à l'AV à chaque stoppage; par suite, le gouvernail prend un angle positif, et la torpille monte brusquement la pointe en haut; puis elle replonge, et ces mouvements de lacet détruisent peu à peu sa force vive; elle ne tarde pas à s'arrêter. La tension de ce ressort est de 4 à 5 kg.

Nous allons passer maintenant à l'étude de la transmission de mouvement du régulateur au servo-moteur.

§ 833. **Tige de transmission. Levier coudé.** — En sortant de la boîte étanche B′, que nous avons décrite § 819, la transmission se continue par une tige C (fig. 3), qui traverse le réservoir d'air dans un tube-guide D; cette tige est formée d'un tube en fer-blanc ou en laiton fermé à ses deux extrémités par des armatures en cuivre d, d' soudées à l'étain. Celle de l'avant se visse dans la douille X articulée sur le bras intérieur o; l'autre se capèle sur le levier coudé h dont le support est fixé à la cloison R du réservoir d'air.

§ 834. **Bielle verticale.** — La bielle verticale I (fig. 2 et 4) sert à réunir les deux parties de la transmission. Sa longueur que l'on ne peut déterminer qu'en procédant au balancement de la torpille, doit être aussi précise que possible. Une disposition spéciale permet d'en régler les dimensions.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Elle comprend les organes suivants :

D (fig. 4, vue 1) boîte cylindrique, dans laquelle peuvent glisser indépendamment l'un de l'autre deux curseurs : l'un B, portant l'œil de l'articulation avec le levier coudé *h* (fig. 3) ; l'autre Q, qui sert à immobiliser le gouvernail, et dont nous parlerons plus tard (§ 845).

b, S petites tringles vissées, l'une dans le curseur B, l'autre dans le curseur Q, et portant chacune un collet *m*, *n* (fig. 4, vue 3) emprisonné dans un écrou à chapeau *e*. En tournant les tringles *b*, S (vue 1), on fait monter et descendre les curseurs B, Q, que l'on règle ainsi à volonté.

A chape s'articulant sur la branche horizontale du levier coudé qui commande le tiroir du servo-moteur.

Dans les modèles précédents, la bielle avait la disposition de la vue 2. Pour modifier sa longueur et manœuvrer la vis de réglage, il fallait décrocher la bielle d'avec le levier *h*. En outre, on devait démonter la cornière *g* qui servait à la maintenir dans sa position.

§ 835. **Transmission entre le servo-moteur et le gouvernail**. — L'ensemble de cette transmission est représenté théoriquement sur la figure 5. La tige du piston du servo-moteur est vissée et goupillée avec la tige du gouvernail B', qui est reliée à la bielle D. Cette dernière s'articule par une chape au mouvement à sonnette M. La transmission se continue ensuite par une bielle G, un balancier H oscillant autour d'un axe H', une bielle à fourche F, et enfin par le levier *l* du gouvernail X.

§ 836. — **Flotteur Æ**. — Ce compartiment (Pl. XXXI, fig. 2) est parfaitement étanche ; il sert à assurer la flottabilité de la torpille et à la faire couler quand elle manque le but contre lequel elle a été lancée.

Nous avons déjà donné au § 823 quelques indications sur le flotteur Æ.

Il nous reste à dire qu'il est traversé par deux tubes-guides *h*, H ; le premier donne passage à la tige de stoppage ; l'autre contient la tige du gouvernail de profondeur.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

D'autre part, il existe à l'arrière un petit trou p bouché par une vis, qui permet de vérifier l'étanchéité et d'évacuer l'eau qui pourrait s'introduire dans le flotteur.

Dans la partie basse, et à toucher la cloison-support a, se trouve un lest m composé d'une masse de plomb; il est placé un peu à bâbord pour équilibrer le poids des divers organes.

La contenance du flotteur est de 38 litres pour les torpilles modèle 1880.

V. — Compartiment des engrenages.

Ce compartiment, de forme tronconique, contient les organes qui transmettent le mouvement à l'hélice AV. Il est représenté Pl. XXXIII, fig. 1.

§ 837. **Pignons. Hélices.** — Sur l'arbre moteur a, auquel est clavetée l'hélice AR, se trouve un pignon conique n. Sur le manchon p, qui porte l'hélice AV, est fixé un autre pignon conique n' de même dimension que le premier. Le pignon n transmet le mouvement de la machine à n' par l'intermédiaire de deux pignons coniques m, m', ayant mêmes dimensions que n et n'.

Les pignons m et m' tournent à frottement doux sur deux tourillons verticaux venus de fonte avec une douille O, au centre de laquelle passe l'arbre de la machine; on l'appelle *douille à tourillons*. Le pas des vis S' qui terminent les tourillons pignons est à gauche, pour empêcher qu'elles ne se desserrent pendant le mouvement.

Le compartiment des engrenages est traversé par les tiges du mécanisme de stoppage et du gouvernail de profondeur.

Les hélices sont fixées sur leurs arbres par deux clavettes; puis elles sont maintenues en place par les écrous-freins R' et R.

§ 838. **Tableau donnant le diamètre et le pas des hélices des torpilles réglementaires.**

	TORPILLES DE 5m,80 environ		TORPILLES DE 4m,40 environ		
	Mle 1876	Mle 1880	Mle 1877	Mle 1878	Mle 1880
Diamètre	0m,343	0m,345	0m,330	0m,328	0m,322
Pas de l'hélice AV	0m,938	1 ,020	0 ,938	0 ,950	1 ,040
Pas de l'hélice AR	0m,834	0 ,985	0 ,805	0 ,834	0 ,960
Différence entre les pas	0m,104	0 ,035	0 ,133	0 ,116	0 ,080

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

VI. — Queue de la torpille.

§ 839. — La queue de la torpille (Pl. XXXIII, fig. 2) se compose de deux parties principales :

1° Le support des gouvernails ;
2° La pièce à ailettes.

1° *Support des gouvernails.* — Cette pièce est formée d'une douille tronconique A, munie de quatre ailerons : deux horizontaux A', A'_1, et deux verticaux A^2, A^2_2, venus de fonte ou rapportés sur des amorces.

Les ailerons verticaux A^2, A^2_2 sont terminés par des armatures de jonction E E, E_2 E_2 rivées et soudées, à l'aide desquelles on les réunit à la pièce à ailettes $b\,b_1$, dont nous parlerons plus loin.

L'armature supérieure E E est munie d'un ergot E′, qui sert à guider la torpille dans le tube de lancement.

L'armature E_2 E_2 porte un évidement pour loger le balancier H du gouvernail horizontal.

2° *Pièce à ailettes.* — Elle est formée d'une douille T portant quatre ailettes, deux verticales b, b_1, et deux horizontales b^2, b^2_2. Les premières constituent le *gouvernail vertical* proprement dit.

Les deux lames m, m^2 formant le *gouvernail horizontal* sont ajustées dans deux rectangles découpés au centre des ailettes b^2, b^2_2, et qui constituent le cadre.

A l'extrémité de l'armature du gouvernail horizontal sont fixées solidement deux fortes tiges a s'emmanchant dans des douilles K portées par les ailerons horizontaux. Ces tiges sont percées et filetées, et des vis à tête ogivale a' serrent les embases contre les douilles.

Les vis permettent de régler la direction du gouvernail vertical en modifiant son inclinaison ; mais ce système a l'inconvénient de mettre en jeu l'élasticité de la pièce. Une modification importante a été apportée par les ailettes directrices Schwartzkopf, que nous décrirons § 841.

§ 840. **Surfaces et épaisseurs des diverses parties de la queue dans les différents modèles.**

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

	MODÈLE 1876		MODÈLE 1887	MODÈLE 1878		MODÈLE 1880	
	Arrière primitif	Arrière modifié		Arrière triangulaire	Arrière rectangulaire	de 4m,40 AR modifié et non modifié	de 5m,75
Surface totale des ailerons verticaux, y compris le gouvernail vertical. . . .	0mc,0832	0mc,0798	0mc,0682	0mc,0496	0mc,0654	0mc,0700	0mc,0776
Surface des ailerons horizontaux, y compris le cadre du gouvernail de profondeur	0mc,0525	0mc,0760	0mc,0580	0mc,0342	0mc,0550	0mc,0600	0mc,0654
Surface totale du gouvernail de profondeur (des deux lames).	0mc,0257	0mc,0236	0mc,0203	0mc,0085	0mc,0178	0mc,0175	0mc,0253
Épaisseur du cadre et du gouvernail de profondeur	3mm,3	4mm	2mm,8	4mm	4mm	4mm	4mm
Épaisseur des ailerons horizontaux du support (au milieu).	8mm	4mm,5	5mm,5	10mm,5	11mm	4mm	4mm,5

§ 841. **Ailettes directrices de Schwartzkopf.** — Ce système, appliqué à toutes les torpilles depuis 1885, est formé de deux petits gouvernails supplémentaires fixés sur les ailerons horizontaux à une distance de 103mm de chaque côté de l'aileron vertical et parallèlement au plan longitudinal.

Chacun d'eux se compose de deux petites ailettes *a* et *b* (Pl. XXXIII, fig. 3) placées l'une en dessus, l'autre en dessous de l'aileron et réunies ensemble par des vis à tête carrée *c*, *d*.

L'ailette *a* porte un index à sa partie postérieure. La vis *c* traverse l'aileron, et sert de pivot. La vis *d* se meut dans une rainure circulaire *m n* graduée. Le petit gouvernail peut ainsi être fixé dans une position quelconque de cet arc de cercle.

La surface de chaque ailette est de 20cc, soit 80cc pour les deux gouvernails.

L'angle de la barre de chaque côté de la direction axiale est de 5° environ.

L'expérience a prouvé que ce système offrait un moyen simple et facile de régler les torpilles en direction; il est préférable aux écrous ogivaux, parce qu'il ne fait pas intervenir l'élasticité des pièces métalliques, et que son action ne peut se modifier avec le temps. Il permet d'avoir des queues d'une seule pièce, et par conséquent plus solides. En outre, l'adjonction de ces ailettes ne modifie pas la vitesse.

§ 842. **Mécanisme de stoppage. Roue striée.** — Ce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mécanisme a pour but de fermer la soupape de prise d'air, et par conséquent, d'arrêter la machine motrice au bout d'un parcours déterminé à l'avance. Il comprend les organes suivants (Pl. XXXIII, fig. 4) :

A (vue 1) vis sans fin fixée sur l'arbre de l'hélice et engrenant avec une roue striée *b*, qui a 100 dents dans le grand modèle 1880 et 75 dans les autres types. La roue striée porte un bouton excentré *d*.

C roue à rochet placée au-dessus de la roue *b* et en avant de celle-ci ; elle a 40 dents, et engrène à chaque tour de la roue avec le bouton *d*. Cette roue porte également un bouton excentré *f*. A chaque tour de la roue *b* le bouton *d* fait avancer la roue C d'une dent. Cette roue est maintenue en prise par un ressort à linguet *g*. Elle avance donc d'une dent pour 100 dents de la roue *b*, ou pour 100 tours d'hélice.

h levier de stoppage, sur lequel vient appuyer le bouton *f*, et dont une branche se trouve en dehors de la torpille; il oscille autour d'un axe *o* fixé à l'enveloppe. La branche qui se trouve à l'intérieur porte un talon qui vient appuyer contre une boîte en bronze K.

R ressort assez fort, logé dans la boîte K, et qui rappelle la tige I commandant la soupape de prise d'air.

r petit ressort à boudin, qui facilite l'enclanchement du talon du levier *h*.

l (vue 2) arbre à manivelles porté par le bâti de la machine motrice; la manivelle inférieure est munie d'un bouton *u*, qui se meut dans la coulisse de la bielle J. La manivelle supérieure est reliée au levier de soupape de prise d'air par la bielle cintrée *m*.

On obtient la tension du ressort R (vue 1) en tirant la boîte K sur l'avant, au moyen d'un levier que l'on introduit par une ouverture pratiquée sur l'enveloppe de la torpille. Ce levier agit sur un bouton K^2 placé à la partie supérieure de la boîte. Celle-ci coulisse sur la douille C′ du compartiment des engrenages, et se trouve guidée par un ergot glissant dans une rainure que porte cette douille ; elle est assemblée par le bouton K^2 à la tige I, qui commande la soupape de prise d'air.

Quand le ressort R est débandé, la tige I se trouve sur l'arrière (traits pointillés); le bouton *u* (vue 2) est arrêté par l'extrémité A′ de la bielle J. Le levier O est ramené sur l'avant dans la position de fermeture de la soupape de prise d'air (§ 824).

Quand R est bandé, c'est-à-dire lorsque la boîte de stoppage K est retenue sur l'avant par son levier d'arrêt *h*, la bielle J′ se trouve sur l'avant, et le bouton *u* peut se mouvoir dans la coulisse. Le ressort R n'ayant plus d'action sur le levier O, on peut indistinctement placer ce dernier dans la position d'ouverture ou de fermeture.

L'assemblage de la vis sans fin, de la roue striée et de la roue à rochet constitue ce qu'on nomme le *compteur*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 843. **Fonctionnement du mécanisme de stoppage.** — Quand on veut lancer une torpille, on l'introduit d'abord dans son tube (comme nous le verrons plus tard); et l'on bande le ressort de stoppage, ce qui ramène la coulisse J′ (Pl. XXXIII, fig. 4, vue 2) en avant et laisse au bouton u la liberté de se mouvoir.

Quand la torpille part, le levier O, faisant saillie à l'extérieur de la torpille, est renvoyé sur l'arrière par la paroi du tube de lancement L. Il ouvre la soupape de prise d'air; le bouton u vient sur l'AV de la coulisse.

La soupape de prise d'air étant ouverte, la machine se met en marche. La vis sans fin A (vue 1) entraîne la roue striée b; et chaque fois que son bouton excentré d fait un tour, la roue à rochet C avance d'une dent.

Quand l'hélice a exécuté un nombre de tours déterminé, le bouton excentré f de la roue à rochet venant porter sur la partie AR du levier d'arrêt h, provoque le déclanchement de la boîte de stoppage K. Celle-ci, poussée par son ressort, revient en arrière entraînant avec elle la tige I, la bielle à coulisse J′ (vue 2), le levier coudé $B^8 B^5$, la bielle cintrée m, et rabat le levier O sur l'AV; la soupape de prise d'air étant fermée la machine s'arrête.

Si, par suite d'un oubli, le ressort de stoppage n'a pas été bandé avant le lancement, le levier O de la soupape de prise d'air se ferme aussitôt qu'il a dépassé la bouche du tube de lancement. Dès lors, la machine ne peut se mettre en marche, et la torpille reste à l'endroit où elle est tombée.

§ 844. **Régler le compteur de stoppage pour un parcours donné.** — Chaque torpille est réglée à l'avance pour un certain parcours; et sur sa feuille matriculaire est indiqué le nombre de dents dont il faut déplacer la roue à rochet C pour parcourir la distance voulue.

Si l'on ne connaît pas ce nombre, on peut le calculer de la manière suivante :

Soient P le pas moyen des deux hélices et 0,12 le coefficient de recul; l'avance pour un tour d'hélice ou pour une dent de la roue à rochet est donnée par

$$P - 0{,}12\ P.$$

Si la roue striée porte n dents, chaque tour de cette roue ou chaque dent de la roue à rochet correspond à un parcours égal à

(1) $$n P (1 - 0{,}12).$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Or le tableau suivant nous donne les valeurs de n et de P pour les différents modèles de torpilles :

	MODÈLE 1876	MODÈLE 1877	MODÈLE 1878	MODÈLE 1880	
				de 4m,40	de 5m,75
Pas des hélices P. .	0m,886	0m,871	0m,871	1m,000	1m,002
Nombre de tours n.	75	75	75	75	100

En portant ces valeurs dans la formule (1) on obtient les chiffres suivants qui donnent, avec une approximation suffisante, le parcours des différentes torpilles pour chaque dent de la roue à rochet.

Modèle 1876.	58m
— 1877.	57m
— 1878.	57m
— 1880 de 4m,40.	66m
— 1880 de 5m,75.	88m

Afin d'avoir le nombre de dents dont il faut que la roue à rochet soit reculée de son repère pour obtenir un parcours déterminé P′, il suffit de diviser P′ par un des chiffres précédents. Mais comme au départ le bouton excentré de la roue striée est rarement en prise avec les dents de la roue striée, la première dent ne correspond pas à 75 ou 100 tours d'hélice; pour tenir compte de cette différence, on met ordinairement une dent de plus que le nombre calculé comme nous venons de le voir.

Prenons, par exemple, une torpille du modèle 1880 de 5m,75, devant parcourir une longueur de 500m; le quotient $\frac{500}{88}$ est égal à 6; mais, en réalité, le zéro de la roue à rochet C sera reculé en arrière du linguet g de 7 dents.

§ 845. **Mécanisme d'immobilisation du GH.** — Ce mécanisme a pour but d'immobiliser le GH pendant les premiers instants du parcours de la torpille. Il comporte un levier A à axe vertical (Pl. XXXIII, fig. 5) (1), portant à son extrémité une partie méplate m qui vient s'engager à volonté dans le curseur Q de la bielle verticale I (§ 834), cette bielle se trouve alors immobilisée.

(1) Sur cette figure on voit en B^5 et B^8 les mêmes manivelles qu'en fig. 4, vue 2. — La pièce M′ est le support de ces manivelles; B^6 est l'emmanchement de la manivelle qui commande la bielle de stoppage; de son côté B^7 est la came qui actionnait le verrou de sûreté (§ 815), quand il y en avait un. Enfin on voit en J et b les renvois de mouvement au servomoteur C.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans les modèles 1876-1878, le grand bras du levier A est terminé par une mâchoire qui le met en prise avec l'olive d'immobilisation K′ (Pl. XXXII, fig. 4, vue 2) vissée sur la bielle verticale.

En tous cas, le levier A peut osciller de l'AV à l'AR autour de son axe vertical. Il est articulé sur un support en bronze M, qui est fixé sur le bâti N de la machine par deux vis.

La bielle horizontale x qui communique le mouvement au levier A s'articule sur la tige t' (Pl. XXXIII, fig. 4). Celle-ci commande un bras D, manœuvrable au besoin à la main. Ce bras est lui-même articulé à une courte tringle H (vue 1), que termine à l'AR un crochet destiné à être entraîné par le bouton excentré d à partir de la position extrême avant, qu'il occupe au départ de la roue striée. Après le lancement, le mouvement en arrière de la tige H dans son entraînement par le bouton d détermine, par l'intermédiaire de la bielle t', le dégagement du levier A (fig. 5) d'avec la bielle verticale I, qui à cet instant redevient libre. Par ailleurs, du moment que le bouton d (fig. 4) a atteint sa position extrême arrière il s'échappe du crochet de la tringle H, qui désormais n'est plus sujette qu'à être successivement soulevée par d et rabaissée par le ressort G sans aucune action sur la tige t'. Le tiroir du servo-moteur peut alors être actionné par les régulateurs, et le GH subir leur influence.

En modifiant la position du curseur Q, on fera un peu incliner la bielle verticale de l'avant ou de l'arrière, et, comme le GH suit toujours les mouvements de cette bielle, on pourra l'immobiliser dans la position jugée convenable. Il suffira pour cela de manœuvrer la vis S en conséquence.

L'immobilisation du GH permet de soustraire la torpille à l'influence du pendule, qui, par son inertie, reste en AR dans les lancements au *tube-carcasse*, et revient, au contraire, sur l'AV dans les lancements *au-dessus* de l'eau. Or, dans le premier cas, le pendule met le GH en bas, et fait prendre à la torpille des immersions qui sont d'autant plus grandes, au début de la trajectoire, que la *prépondérance pointe en haut* (§ 807) est plus grande, et que les formes de l'avant sont plus effilées. Dans le second cas, la résistance éprouvée par la torpille en pénétrant dans l'eau produit une diminution de vitesse qui, en reportant le pendule sur l'AV, fait venir le GH en haut. Si le tube est pointé horizontalement et que sa hauteur soit faible, $0^m,50$ par exemple, la torpille fait un bond ou deux avant de se rendre à son

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

immersion ; cette tendance subsiste tant que le tube reste dans la même position.

Donc, suivant le mode de lancement, on doit combiner la durée de l'immobilisation et la position du GH, pour que, au moment de la désimmobilisation, la torpille étant à son immersion, le pendule n'agisse que sous l'action de la pesanteur.

§ 846. **Immobilisation du GH dans les différents cas.** — 1° *Lancements au tube-carcasse* (1). — La position d'immobilisation du GH par rapport au plan de son cadre varie suivant le modèle de la torpille et l'immersion du tube.

Quand le tube est à 1^m sous l'eau, par exemple, on obtient de bonnes immersions à l'origine de la trajectoire en plaçant le GH de la façon suivante :

1 à 2^{mm} au-dessus de son cadre pour les torpilles **M^le 1876** ;
0 à $1^{mm},5$ au-dessus de son cadre pour les torpilles **M^le 1880** de 5,75 ;
dans le plan du cadre pour les torpilles **M^les 1878 et 1880** de **$4^m,40$**.

Dans chacun de ces cas, le bouton excentré se place à la main sur l'Æ de la verticale ZZ (fig. 207) passant par l'axe de la roue striée ; lorsque la roue a 75 dents, on le met à 45° de ZZ en bas en *d* ; et quand elle en a 100, on l'amène à 90° en *d'*. Ces données varient très peu, même en augmentant l'immersion du tube jusqu'à $2^m,50$ ou $2^m,75$. Dans tous les cas, on les détermine facilement au moyen des courbes fournies par l'enregistreur d'immersion dont nous parlerons plus loin.

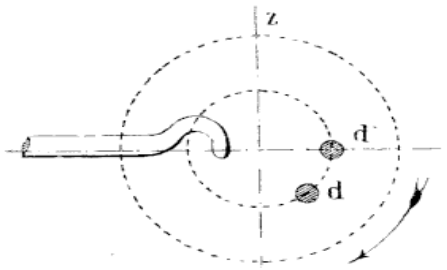


Fig. 207.

2° *Lancements au-dessus de l'eau.* — Dans les tirs par le travers faits à bord de bâtiments où la hauteur du tube était de $0^m,90$, on a obtenu de bonnes trajectoires en immobilisant le GH à 1^{mm} ou $1^{mm},5$ au-dessous de son cadre, le bouton excentré étant à 45° sur l'Æ de la verticale en bas, et en donnant au tube un pointage négatif de 3 degrés.

Sur les *cuirassés d'escadre*, où la hauteur du tube varie de $1^m,40$ à 3^m, on immobilise le GH à 1 ou 2^{mm} au-dessus de son cadre ; on place le bouton excentré à 45° sur l'Æ de la verticale en bas, et l'on fait varier le pointage négatif du tube entre 1° et

(1) Les divers modes de lancements sont décrits plus loin ; il convient de s'y reporter pour l'intelligence de ce chapitre.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° (quand on pointe le tube horizontalement, la torpille en sort moins facilement, et l'on est plus exposé à avoir de fausses chasses). Plus la hauteur de chute augmente, plus le GH doit être élevé au-dessus de son cadre.

Sur les torpilleurs, où les tubes sont inclinés de 7°, on immobilise le GH au-dessus de son cadre de 3^{mm} pour les torpilles M^le 1880 de $5^{m},75$, et l'on prend 4 ou 6^{mm} pour celles du M^le 1876; le bouton est placé verticalement en bas pour les torpilles 1876, et sur l'AV à 45° au-dessus de l'horizontale pour les torpilles du M^le 1880 de $5^{m},75$.

Lancée au-dessus de l'eau, en chasse, en retraite ou par le travers, la torpille ne se comporte pas de la même façon. Dans chacun de ces cas, il faut une immobilisation spéciale qui s'écarte cependant très peu de celle qui figure au tableau ci-après.

En effet, si elle est lancée par l'AV, la vitesse du bâtiment ajoute son action à celle de la chasse, tandis que dans les lancements par l'AR, la vitesse de chasse se trouve diminuée de celle dont le navire est animé.

§ 847. **Tableau récapitulatif des données relatives à l'immobilisation du GH.**

MODE DE LANCEMENT		MODÈLE de torpilles	POINTAGE du tube en hauteur	IMMOBILISATION	
				Position du GH	Position du bonton excentré *d*
Au tube-carcasse (immergé de 1^{m} à $2^{m},75$)		1876 et 1880 de $5^{m},75$	0	$(+1^{mm},5)$ à $(+2^{mm})$	
			0	0 à $(+1^{mm},5)$	
		1878 et 1880 de $4^{m},40$	0	0	
Tirs à la poudre (au-dessus de l'eau).	Le tube à $0^{m},90$ de hauteur	1878 et 1880 de $4^{m},40$	— 3°	de (— 1) à $(-1^{mm},5)$	
	Tube à $1^{m},40$ ou $2^{m},50$ de hauteur (cuirassés d'escadre)	1878 et 1880 de $4^{m},40$	de 0° à — 2°	de (+ 1) à $(+2^{mm})$	
	Torpilleurs munis de tubes inclinés de (— 7°)	1876 et 1880 de $5^{m},75$	»	de (+ 4) à $(+6^{mm})$	
			»	$(+3^{mm})$	

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quand la torpille est lancée par le travers, les conditions d'immersion dues à l'immobilisation du GH restent à peu près constantes, il n'y a que la déviation horizontale initiale qui varie avec la vitesse du bâtiment; mais l'immobilisation n'y fait rien, et on ne peut la corriger que par le pointage du tube en direction.

Dans tous les cas, avec les chiffres du tableau, on peut toujours essayer un premier lancement; la courbe obtenue avec l'enregistreur d'immersion permettra de modifier ces données suivant la trajectoire observée.

§ 848. **Mécanisme de submersion**. — Ce mécanisme, qui sert à faire couler la torpille au bout de son parcours, comporte les pièces suivantes (Pl. XXXIII, fig. 6, et fig. 4) :

Z soupape de submersion;
x bielle de submersion;
W levier-ressort servant de guide à la bielle x;
l bouton de commande rivé sur la manivelle supérieure de stoppage B^5 (§ 842).

La soupape Z est en bronze; son siège est fixé à demeure sur la cloison-support de la machine motrice. Elle s'ouvre de l'ÆR à l'AV, et est maintenue par un ressort r.

La soupape porte une anse rectangulaire z, dans laquelle vient se crocher au moment voulu la bielle de submersion x; celle-ci est articulée à l'AV au bouton excentré l situé sur la manivelle supérieure B^5.

Le levier-ressort W, guide de la bielle de submersion, est simplement enfilé et maintenu par un écrou sur le bout de l'axe de la came qui manœuvre la soupape de prise d'air (§ 824).

La branche verticale du levier W, faisant ressort, reste engagée dans l'une ou l'autre de deux encoches ménagées aux extrémités d'une rainure longitudinale pratiquée sur la carcasse de la torpille.

Pour les tirs d'exercice, on place le levier W dans l'encoche de l'avant (fig. 6, vue 1), de sorte que la bielle de submersion x, soulagée par la coulisse de W, ne peut crocher l'anse de la soupape au moment du stoppage; et la torpille remonte à la surface.

Si, au contraire, le levier est mis en prise dans l'encoche ÆR (vue 2), la coulisse est abaissée; et le crochet de la bielle x repose sur l'anse de la soupape. Au moment où la torpille est chassée du tube, le levier O est rabattu vers l'ÆR, et le bouton l se trouve

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en l' ; le crochet de la bielle x se met dès lors en prise avec l'anse de la soupape Z. Lorsque le mécanisme de stoppage fonctionne, la bielle x, reportée brusquement sur l'AV, détermine l'ouverture de la soupape Z ; et l'eau qui remplit constamment la chambre des machines, pénétrant dans le cône ÆR, fait couler la torpille. Cette opération est nécessaire dans un combat, car il ne serait guère possible de rechercher une torpille qui aurait manqué le but, et elle constituerait un danger pour les navires amis.

Remarque. — Dans les lancements d'exercice, il est bon d'enlever la bielle de submersion ; on évite ainsi de perdre la torpille, lorsque, par suite d'un oubli ou d'une cause accidentelle, le levier-ressort se trouve placé dans l'encoche ÆR.

TORPILLES MODÈLES 1885, 1855 MODIFIÉ, ET 1886.

§ 849. **Particularités du modèle 1885.** — Le modèle de torpilles de 1885, basé sur les mêmes principes que les anciens types, présente dans les détails des modifications importantes.

Il possède des longueurs de $4^m,40$ et de $5^m,75$; ses formes extérieures sont semblables à celles du modèle 1880. Les dispositions de la chambre de charge et de la pointe percutante sont identiques à celles du modèle 1880.

Voici les principales modifications qui caractérisent ce type :

La queue est d'une seule pièce.

Le gouvernail horizontal n'est plus protégé par un cadre à l'ÆR.

Il existe une disposition spéciale pour la soupape de chargement et de conservation d'air.

Le mécanisme de stoppage et celui d'immobilisation du GH sont placés tout entiers dans la chambre de la machine ; on a supprimé le mécanisme de la roue striée de l'ÆR et toute la transmission qui en dépendait.

La soupape de prise d'air est équilibrée, et son levier porte une palette russe.

L'installation des engrenages a été modifiée.

§ 850. **Installation des engrenages. Queue.** — La cloison m qui ferme le flotteur à l'ÆR est disposée ainsi que l'indique la planche XXXIV, figure 1. Comme les mécanismes de stoppage

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

et d'immobilisation du GH sont actuellement placés dans la chambre de la machine, le cône AR n'est plus traversé que par le tube enveloppe de l'arbre d'hélice et par celui de la tige de gouvernail.

La partie intérieure de la cloison *m* est filetée pour recevoir un manchon M servant de support à la douille du pignon AR, *r'*. Sur ce manchon s'assemble la queue.

Les pignons intermédiaires, au nombre de trois, sont montés sur un manchon à T, et y sont maintenus par deux pièces N s'emboîtant sur l'extrémité des tourillons du T; ces pièces sont fixées au moyen de vis V et de vis-freins *v*. Les pièces N, de forme carrée, s'ajustent dans des trous de mêmes dimensions, et maintiennent les extrémités du manchon à T.

Dans la nouvelle queue, généralement adoptée par toutes les marines étrangères, les vis ogivales ont été remplacées par des renforts latéraux L (fig. 2), qui, comme les armatures L' des ailerons verticaux, sont rivés et soudés avec les ailerons, et forment un tout parfaitement rigide.

La queue s'emmanche par sa partie AV sur le manchon M. Un écrou F (fig. 1) la serre à demeure dans le sens longitudinal. Sa mise en place, qui est très facile, se fait comme celle des hélices et en même temps. Les vis à frein K s'opposent à tout déplacement, et servent de repère pour le montage.

Le réglage en direction est obtenu au moyen d'ailettes Schwartzkopf *a*,*a* (fig. 2), dont la surface totale est de 35^{cmc} pour les torpilles de $4^{m},40$.

Le gouvernail horizontal est en deux parties G,G (fig. 2) placées de chaque bord de la douille de la pièce à ailettes ; il se trouve tout à fait à l'extrémité AR de la queue et n'a pas de cadre à l'AR. Ses pivots sont portés par des petits coussinets C,C.

La solidité de cette nouvelle queue permet un réglage en direction qui est très simple, et qui, une fois obtenu, peut être conservé indéfiniment. C'est un grand progrès sur le modèle 1880.

§ 851. **Soupape de conservation d'air et de chargement.** — Cette soupape est formée de deux pièces A et B (Pl. XXXIV, fig. 3) solidaires l'une de l'autre; A est la soupape de chargement, B celle de conservation d'air. Elles sont toutes les deux renfermées dans une même boîte M, munie d'une bride et fixée par deux vis à tête carrée U sur le fond AR du réservoir d'air ; un glacis d'étain assure l'étanchéité du joint.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

La boîte M est réunie à la soupape de prise d'air par le tuyau *t*. Sa partie supérieure est fermée hermétiquement par un bouchon fileté E, sous lequel se trouve une soupape *e* maintenue par deux goupilles.

La soupape B, placée en bas d'une douille B′ filetée extérieurement (avec pas à gauche), y est maintenue par des goupilles *b*. La douille B′ se visse dans un renfort de la boîte M où sont percés quatre canaux *o*, destinés pendant le chargement à donner passage à l'air qui se rend dans le réservoir.

Le corps de la soupape A de forme prismatique est creux ; il pénètre dans un évidement de même forme pratiqué dans l'intérieur de B′, de sorte qu'en faisant tourner A, on communique le même mouvement à B′ qui se déplace verticalement, et ouvre un passage avec les canaux *o*. Un trou borgne, de forme carrée, percé au centre de A, sert à recevoir la clef de manœuvre N (vue 3) introduite par son petit carré.

La soupape A est constamment soulagée par un ressort qui la fait appuyer sur un siège ménagé à la partie inférieure du bouchon fileté D, vissé à demeure dans la boîte M ; une rondelle de cuir *d* assure l'étanchéité du joint.

Pour charger, on enlève le bouchon E avec la clef N introduite par son grand carré. Quand on s'est assuré que la soupape B est ouverte, on visse la tubulure de chargement venant de l'accumulateur ; et l'on charge le réservoir à la pression de régime. Puis on ôte la tubulure, et avec la clef N, qu'on introduit dans A, on ferme la communication du réservoir. Enfin, on met en place le bouchon E.

§ 852. **Palette russe. Soupape de prise d'air équilibrée.** — La soupape de prise d'air dans les anciennes torpilles s'ouvre par la rencontre de son levier de manœuvre avec un doigt placé dans le tube de lancement (§ 910). Mais alors dans les lancements au-dessus de l'eau la machine motrice peut s'emporter. Pour remédier à cet inconvénient, et, de plus, afin d'empêcher une perte d'air assez considérable, les Russes se servent depuis 1881 d'une palette fixée, en dehors de l'enveloppe de la torpille, perpendiculairement au levier de la soupape de prise d'air. C'est tout simplement une bande de tôle d'acier de 1^{cm} de haut, sur 8 à 10^{cm} de large, taillée et contournée de façon à s'ajuster parfaitement

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

à l'enveloppe de la torpille dans ses deux positions extrêmes. Quand la torpille entre dans l'eau, la soupape est fermée, en même temps que la palette se présente normalement à l'axe longitudinal de la torpille. Mais la résistance de l'eau fait rabattre la palette, qui alors ouvre la soupape et permet à la machine de se mettre en marche seulement à ce moment.

Dans le même but, MM. Whitehead avaient cherché à se servir du régulateur de pression. Une palette était reliée par des bielles au piston du régulateur. Quand on voulait lancer la torpille, on mettait la palette perpendiculairement à l'axe longitudinal ; les orifices du piston étaient déplacés, et ne se trouvaient plus en regard de ceux du cylindre. L'air ne pénétrait dans la machine que par les fuites. Quand la torpille entrait dans l'eau, la palette se rabattait, le piston tournait sur son axe. Ses orifices correspondant alors à ceux du cylindre, la machine se mettait en mouvement. Ce système d'une construction assez simple fonctionnait très régulièrement ; mais il était trop délicat.

En somme, le mieux est de se servir de la soupape de prise d'air. Toutefois, pour agir d'une manière efficace sur celle-ci, sans donner à la palette une surface trop considérable, il est nécessaire d'équilibrer la soupape afin qu'elle obéisse à un faible effort.

Voici la disposition adoptée à cet effet par MM. Whitehead pour toutes les torpilles qu'ils construisent actuellement, quels que soient leur modèle et le gouvernement auquel elles sont destinées :

La soupape de prise d'air S (Pl. XXXIV, fig. 4) est creuse ; elle contient un ressort qui l'appuie sur son siège quand le bouchon W est en place. La partie cylindrique de S, ajustée à frottement doux dans sa boîte Q, est munie de stries circulaires destinées à assurer l'étanchéité, et établit par le tuyau T la communication du réservoir à air avec le régulateur de pression.

Deux soupapes auxiliaires A et B, placées à la partie supérieure du tuyau T, peuvent être mises à volonté et alternativement en communication avec le dessus de S par les petits canaux M et K (vue 3) percés au travers du métal. Ces soupapes, renfermées dans des boîtes démontables, sont équilibrées par des ressorts ; à leur partie supérieure elles sont guidées par des contre-tiges avec lesquelles elles sont goupillées.

Les soupapes A, B communiquent par leur partie inférieure

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

avec la chambre O servant de logement à l'arbre du levier de prise d'air, qui est muni de deux cames d, b; celles-ci sont placées à 90° l'une de l'autre; d agit sur la soupape A, b sur B. Le canal K relie le dessus de B avec l'espace G communiquant au réservoir d'air; le canal M, en forme d'équerre, réunit la chambre O avec le dessus de S. La partie supérieure de A communique avec l'atmosphère par des trous u.

L'arbre des deux cames est commandé à la fois par le levier de prise d'air et par le levier de la palette russe, qui peuvent être à volonté dépendants ou indépendants l'un de l'autre.

Au départ quand la palette P est verticale, comme l'indique théoriquement la vue 3, la soupape B est ouverte et A est fermée. Dès lors, l'air du réservoir s'introduit en G; puis, par le canal K il vient en B, et de là dans la chambre O, attendu que la soupape B est ouverte. Enfin, en suivant le canal M, il arrive au-dessus de la soupape S qu'il applique sur son siège.

Si le levier X se rabat sur l'Æ, l'arbre à cames tournant de 90°, la soupape B s'abaisse et A se soulève. La communication de G à O est fermée; et la soupape A étant ouverte, l'air contenu au-dessus de la soupape S s'échappe par les trous u. A ce moment S s'ouvre brusquement, comprime son ressort antagoniste, et vient buter contre une rondelle de cuir r, qui amortit le choc.

§ 853. **Levier de prise d'air commandant le système précédent.** — On voit par ce qui précède que, quand la palette est verticale, la prise d'air est fermée; elle est ouverte lorsque la palette se rabat sur l'Æ. Une fois la torpille partie la palette doit désormais rester abattue.

Or, ainsi que nous le verrons § 854, avec le présent système de soupapes, le levier de prise d'air n'est plus, comme primitivement, maintenu par un ressort de stoppage (§ 842) dans la position correspondant à la fermeture de la soupape de prise d'air. Lors donc que la machine s'arrête au bout du parcours voulu sous l'action du levier de prise d'air qui se relève, la palette doit demeurer couchée; sans quoi la résistance de l'eau due à la vitesse acquise de la torpille s'exerçant sur la palette devenue verticale la rabattrait sur l'Æ, et la torpille se remettrait en marche.

Il faut conséquemment que, à partir du moment où la soupape d'admission a été ouverte, la palette et le levier de prise d'air de-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

viennent indépendants l'un de l'autre. Ce résultat a été obtenu grâce à la disposition suivante :

Le levier en question est formé de deux pièces ; la première X (fig. 4, Pl. XXXIV), qui porte la palette russe P, est folle sur une partie cylindrique ménagée au centre du bouchon O′ de la chambre O. La seconde pièce Y est fixée par un emmanchement carré sur l'arbre à deux cames. Quand la palette est verticale et que la soupape S est fermée, les deux pièces X et Y sont rendues solidaires par un linguet R. La pièce Y porte un bouton *p* sur lequel s'attache la bielle de stoppage F qui la relie au compteur automatique de distance. Quand la torpille entre dans l'eau, la palette P est entraînée vers l'Æ, X et Y suivent son mouvement ; mais un peu avant que la palette n'arrive à bout de course, l'extrémité *q* (vue 4) du linguet R rencontre un butoir fixe *f* (vue 3), qui l'arrête et le déclanche. Par suite, Y pourra maintenant se relever sous l'action de la bielle F sans entraîner X, qui reste rabattu sur l'Æ quand le compteur est arrivé à bout de course.

L'inconvénient signalé plus haut se trouve donc évité ; et l'on n'a plus à craindre de voir la machine se remettre en marche après le stoppage.

Quand on chargera le réservoir, il suffira, pour éviter toute ouverture accidentelle de la soupape S, de soulever le linguet R et de rabattre le levier X sur l'Æ. C'est seulement au dernier moment qu'on le placera sur l'AV.

§ 854. **Mécanisme automatique de stoppage.** — Une roue à rochet A (Pl. XXXV, fig. 1) fixée à un arbre B en partie fileté, est mise en mouvement par un système à déclic, commandé par un excentrique E′ calé sur l'arbre A″ de la machine motrice. Le linguet d'entraînement L est relié à la tige de l'excentrique ; le linguet de retenue L′ oscille sur un axe fixé au bâti *c*, qui supporte d'ailleurs l'arbre B. Un ressort *r* maintient chaque linguet en prise avec la roue à rochet A.

Sur l'AV, l'arbre B se prolonge au delà de la roue A par une tige A′ munie d'un rochet *a*, dont le rôle sera indiqué plus loin dans la description de l'appareil d'immobilisation du GH. Sur l'Æ il porte une came G.

Parallèlement à B et sur le même bâti *c*, se trouve un autre arbre D (vue 5), sur lequel glisse à frottement doux une pièce E

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

en forme de secteur (vue 8), qu'une clavette longitudinale empêche de tourner sur D ; cette clavette est rivée à E.

La partie circulaire de E, striée en forme de peigne et formant une portion d'écrou, peut engrener avec la partie filetée de B ; un ressort à boudin R tend à ramener le secteur sur l'*AV*. Ce ressort, tenu d'une part au bâti *c*, fait retour sur une poulie à gorge *p*, et vient se crocher par son autre extrémité à un bouton *e* placé au-dessous de E.

Le levier de prise d'air Y est réuni à l'arbre D au moyen de la bielle de stoppage F (vues 3 et 4) articulée à l'extrémité d'un levier *f* fixé à D.

Un curseur M (vues 5, 6 et 7), que l'on peut déplacer de l'extérieur même de la torpille, et que l'on assujettit dans la position voulue par les vis *m*, *m*, permet de limiter la course de E le long de son arbre D à telle longueur que l'on désire. A cet effet, E porte un talon *e'* qui vient buter sur M.

Enfin, pour assurer l'enclanchement de E sur l'arbre B, le secteur porte à sa partie supérieure une plaque P qui vient crocher, quand le secteur est complètement enclanché, dans le cran d'une pièce P' actionnée par un ressort *q* et oscillant autour d'un axe fixé au bâti *c*. La largeur de P' est telle que le secteur E ne peut se dégager qu'au moment où il est soulagé par la came G.

Quand la prise d'air s'ouvre, son levier Y entraîne la bielle de stoppage F ; le mouvement se communique à l'arbre D et au secteur E, qui, en s'abaissant, se met en prise avec l'arbre B (traits pleins, vue 5). La machine se mettant en marche, la roue A suit le mouvement ; le secteur E entraîné par l'arbre B glisse le long de D ; et, quand il est parvenu à l'extrémité de B, il est soulagé par la came G (traits pointillés), qui agit sur un bouton H rivé sur le curseur. Ce mouvement, transmis par D, *f* et F au levier de la soupape prise d'air contretenu par le ressort N, ferme cette soupape ; en même temps E, rappelé par le ressort R, revient buter contre M.

On voit donc que la course de la torpille dépend du point de départ du secteur, qui dépend lui-même de M ; et comme la position de cette pièce varie à volonté, on peut régler en conséquence la distance que l'on veut parcourir.

§ 855. **Mécanisme d'immobilisation du GH.** — Ce

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

mécanisme (Pl. XXXV, fig. 1, vues 1 et 2) comprend un secteur en bronze J, terminé en bas par un rebord J^1, et porté en haut par deux tourillons J^3, qui tournent dans deux supports en bronze fixés à l'enveloppe de la torpille. Le secteur est muni d'un appendice J^5, à l'extrémité duquel est un goujon *j* servant de pivot à une crémaillère K. A l'extrémité *o* de cette dernière est fixé un ressort à boudin *o'* (vue 2), dont l'autre bout s'accroche à un bouton fixe Q. La crémaillère porte un écrou S dans lequel s'engage la vis de réglage T, qui permet de l'allonger ou de la raccourcir. Enfin, la pièce J porte un renfort *t* percé d'un trou borgne dans lequel on peut engager la clef de manœuvre du mécanisme.

Fonctionnement. — Pour produire l'immobilisation du GH, on appuie sur les lames du GH afin de mettre le bec J' (vue 2) de la bielle verticale W en face du rebord J^1. Par une ouverture percée sur l'enveloppe de la torpille, on introduit la clef de manœuvre dans le trou borgne *t*, et on amène le secteur sur la gauche de sa position de repos; d'autre part l'on agit sur la vis T. Le ressort à boudin est alors tendu; et il ramènerait le secteur J sur la droite à sa position de repos, c'est-à-dire qu'il le déclancherait d'avec la bielle verticale, si le rochet *a* ne s'opposait pas au mouvement de la crémaillère. Quand la machine se met en marche, *a* entraîné par la roue A dans le sens de la flèche permet à la crémaillère de revenir dent par dent.

En faisant déborder plus ou moins le bout T' de la vis T de son écrou S, on mettra en prise le nombre de dents de la crémaillère qu'on désirera et, par suite, on désimmobilisera le GH au moment voulu.

§ 856. **Mécanisme de submersion.** — La nouvelle disposition est représentée Pl. XXXV, fig. 2. La soupape de submersion S est inclinée et disposée comme l'ancienne (§ 848). La bielle de submersion B est directement articulée sur une petite manivelle *b* s'emmanchant sur le prolongement de forme carrée porté par l'arbre à deux cames de la soupape de prise d'air.

Le levier guide L est analogue à l'ancien, et se manœuvre de la même manière.

§ 857. **Modifications de détail.** — En outre des particularités que nous venons de décrire, il existe encore, dans les mo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

dèles 1885, quelques modifications de détail que nous allons passer en revue.

La masse du pendule, au lieu d'être fixée invariablement à sa tige de suspension, lui est reliée au moyen de deux ressorts (Pl. XXXV, fig. 3) dont on peut faire varier la tension. On diminue ainsi, dans les lancements au-dessus de l'eau, les chocs du pendule sur ses couteaux.

Les réservoirs d'air ne sont reçus qu'après un essai de résistance à $127^{kg},5$, et après une épreuve d'étanchéité ou de longue conservation d'air, à 85^{kg} (pression de régime en service courant) pendant 6 jours.

Pour régulariser l'allure de la machine, et pour diminuer les trépidations qu'elle produit quand on la met en marche dans l'air, on a ajouté un contrepoids à la partie R de la manivelle.

L'introduction a été augmentée ; elle a été élevée à un peu plus de 4/10 de la course des pistons.

Pour éviter les inconvénients résultant de l'eau qui s'introduit dans les cylindres pendant les lancements au tube-carcasse, les tiroirs de distribution (§ 828) des cylindres moteurs sont composés de deux parties (fig. 4). La barrette cylindrique B percée de trous sur son pourtour est indépendante des ailerons guides *g*. Ces derniers sont venus de fonte avec une soupape G qui porte sur l'anneau de B. La tige *t* pénètre dans le moyeu des ailerons, et sert de guide provisoire à la barrette B.

Pendant la période de compression, l'eau qui se trouve dans le cylindre et les conduites pénètre par les trous *n*, et sépare (vue 1) la barrette B d'avec la pièce G, puis elle s'échappe par les ailerons dans la chambre d'évacuation du cylindre. Durant la marche normale, la pression de l'air appuie fortement B sur G (vue 2).

Grâce à ce perfectionnement, on a obtenu une plus grande vitesse des torpilles par suite de la meilleure utilisation de l'air dépensé. En outre, la suppression des réservoirs à eau a diminué les pertes d'air et augmenté la distance parcourue avec une vitesse déterminée.

§ 858. **Torpille modèle 1885 modifié**. — Le modèle 1885 que nous venons de décrire a subi quelques modifications, et un nouveau type a été créé sous le nom de *Torpille modèle 1885 modifié*. La soupape équilibrée, indispensable avec l'adop-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tion de la palette russe, n'a pas donné de très bons résultats, surtout à cause du manque d'étanchéité des petites soupapes. Aussi ce système a-t-il été complètement abandonné ; et les torpilles en construction ont été modifiées de la manière suivante : La boîte des soupapes a été supprimée et remplacée par une soupape de prise d'air fonctionnant identiquement comme celles en usage sur les torpilles du modèle 1880 et sur les modèles antérieurs, c'est-à-dire pouvant être manœuvrée à la main, et devant être ouverte, lors du lancement de la torpille, par la rencontre de son levier de manœuvre avec le doigt du tube.

Les autres dispositifs constituant le modèle 1885 ont, au contraire, réussi d'une manière satisfaisante, et sont, par suite, maintenus. Nous dirons même que le mécanisme de stoppage inauguré avec ce modèle, qui paraissait fragile et semblait d'abord devoir donner des mécomptes, se comporte bien maintenant ; cela tient sans doute à une exécution plus soignée.

Les torpilles, qui ne diffèrent du modèle 1885 primitif que par le changement de la soupape de prise d'air, sont connues sous les noms de *torpille modèle* 1885 *modifié*, *torpille* 1885 *bis*, *ou encore torpille* 1885-1886.

Les torpilles de ces deux modèles sont aussi appelées quelquefois *torpilles à grande vitesse*, car elles filent de 4 à 5 nœuds de plus que celles du modèle 1880.

§ 859. **Torpille modèle 1886**. — Les torpilles de ce modèle, qui en apparence ne sont que la reproduction de celles du *modèle* 1885 *modifié*, leur sont cependant bien supérieures.

La mise en marche de la machine, alors que la torpille est encore dans le tube étant définitivement admise, on a été conduit à atténuer les inconvénients inhérents à ce mode de lancement. Le plus sérieux est certainement la fatigue qui en résulte pour la fixation de la machine sur sa cloison-support et l'ébranlement que les hélices donnent à la queue de la torpille.

Dans le nouveau modèle, la fixation de la machine sur sa cloison-support est obtenue à l'aide de 6 vis (équidistantes 2 à 2) au lieu de 5 ; cette même cloison est également plus forte.

Cette modification a entraîné la suppression du réservoir intermédiaire (§ 825) (réservoir placé entre le régulateur de pression et les boîtes à tiroir), et, par suite, le placement du réser-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

voir à huile derrière la cloison-support pour toutes ces torpilles.

La suppression du réservoir intermédiaire n'a pas une influence appréciable sur le fonctionnement des machines Whitehead ; car le tuyautage de celles-ci est assez volumineux pour soustraire le ressort du régulateur de pression à l'action *du coup de piston ;* ce réservoir aurait pu aussi disparaître avec les machines Brotherood dans les torpilles du modèle 1880.

Les organes accessoires placés derrière la cloison-support de la machine sont soudés sur celle-ci ; et les joints de cette partie du tuyautage sont faits du côté de la machine, d'où résulte une plus grande facilité de montage et d'entretien.

La consolidation de l'emmanchement de la queue et de son support est obtenue par quatre vis-freins (au lieu d'une).

Enfin, la soupape de chargement est pleine au lieu d'être creuse, ce qui la consolide beaucoup, et garantit son siège contre les heurts de la clef de manœuvre.

Ainsi modifiées ces torpilles donnent de bons résultats. Elles sont bien supérieures à celles des autres modèles par la facilité de leur réglage et de leur entretien ; leur vitesse moyenne atteint 28,5 pour les grandes et 28 nœuds pour les petites.

Leur construction est aussi mieux soignée. Cependant nous devons dire que la régulation de leur machine laisse encore à désirer ; c'est là leur point faible. Mais ce défaut disparaîtrait si la vitesse de 30 nœuds était exigée ; car avec le volume donné au réservoir d'air comprimé et la pression de 85^{kg} pour celui-ci, la vitesse prévue par les marchés est trop facilement atteinte.

Les torpilles du modèle 1886 sont encore caractérisées par une notable augmentation du poids disponible pour la charge de coton-poudre. Cet élément qui, dans les torpilles modèle 1876, valait à peine 1/12 du poids total de l'engin, et qui ne vaut encore que 1/9 ou 1/10 pour les torpilles des modèles 1880 et 1885, place tous ces types dans des conditions d'infériorité remarquables relativement à leur effet utile. Dans certaines torpilles du modèle 1886, le poids disponible pour la charge pourra atteindre 1/5 du poids total, résultat d'autant plus heureux qu'il a été obtenu sans une diminution de vitesse appréciable (1).

(1) La mode est actuellement aux fortes charges. C'est ainsi que l'on construit des torpilles ayant en coton-poudre un poids disponible pour la charge dépassant quelquefois

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Les cônes de charge de ces torpilles sont tous interchangeables, ce qui permet de les régler toutes avec deux cônes (un pour les grandes charges et un pour les petites) uniquement destinés à cet effet.

La non-affectation d'un cône spécial à chaque torpille facilitera également la confection des cartouches, et pourra, dans certains cas, augmenter le nombre de torpilles disponibles, en ce sens qu'une avarie dans le cône de charge ou ses accessoires ne sera plus une cause d'indisponibilité pour la torpille.

A ces perfectionnements, on a ajouté encore la pointe percutante à hélice (§ 816) qui constitue un organe de sûreté fort simple et très ingénieux. Ce système a été rendu réglementaire à l'exclusion de tout autre et se trouve déjà installé sur toutes les torpilles en service courant.

REVUE SOMMAIRE ET COMPARATIVE DES DIFFÉRENTS MODÈLES DE TORPILLES AUTOMOBILES

Pour terminer cette étude des torpilles, nous croyons utile de résumer, en quelques mots, les différentes modifications qui ont été apportées à la construction de ces engins depuis leur apparition; et nous tâcherons de faire ressortir les avantages et les inconvénients des divers modèles créés jusqu'à ce jour.

§ 860. **Modèle 1876**. — La question des torpilles automobiles n'a été réellement étudiée en France que depuis une douzaine d'années; ce n'est que vers 1876 que nous avons eu des torpilles pouvant être considérées comme armes de guerre efficaces. Depuis le modèle 1876, qui caractérise pour nous le premier type officiel de la torpille de combat, jusqu'à maintenant, bien des modifications ont été apportées à ces appareils.

La torpille modèle 1876 présente les particularités suivantes : Longueur $5^{m},72$. Ressorts antagonistes du piston hydrostatique formés par trois fils enroulés sur le même mandrin, ce qui entraîne

60^{kg}. L'Italie fait essayer des torpilles de 5^{m} de long pouvant recevoir une charge de 100^{kg}.

Par *poids disponible* pour la charge, on comprend le poids de coton-poudre sec, plus 30 p. 100 d'eau d'humectation, avec le poids de la cartouche, de la boîte, de la charge d'amorce et de leurs accessoires.

Exemple. — Une torpille de $5^{m},75$, modèle 1880 ou 1885, ayant un poids disponible pour la charge de 43^{kg} environ, n'a en réalité que 27 ou 28^{kg} de coton-poudre supposé sec.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

une grande longueur pour la chambre des régulateurs d'immersion. Ce même piston se manœuvre de l'extérieur au moyen d'un axe et de deux roues d'angle ; l'une de ces roues est fixée sur l'écrou de tension, et l'autre sur la cloison-support du système hydrostatique. La tige de ce piston est d'un seul morceau ; de plus les roues d'angle précitées et leur tringle de manœuvre constituent un compteur ou plutôt un enregistreur d'immersion. Enfin l'action des régulateurs est transmise au gouvernail à l'aide d'une machine auxiliaire. Prix 11.625 francs, plus la charge qui vaut 6 francs ou 7f,30 par kilogramme de fulmicoton humide ou sec.

§ 861. **Modèle 1877.** — La torpille modèle 1877 a une longueur de 4m,40. Elle diffère de la précédente en ce que les ressorts antagonistes du piston hydrostatique sont séparés, et forment un triangle équilatéral agissant ainsi sur trois points différents du piston ; ce qui diminue d'abord les chances d'obliquité de celui-ci, et permet en outre de réduire notablement la chambre des régulateurs, et par suite le volume et le poids inutiles. Avec ce modèle commmence le fractionnement de la tige du piston hydrostatique, ce qui est un grand avantage. Cette disposition a du reste été maintenue sur tous les modèles. Le piston se manœuvre encore au moyen de deux roues d'angle ; seulement la roue supérieure est portée par le piston lui-même au lieu de l'être par la cloison-support, et le mouvement est donné à cette dernière au moyen d'un arbre suspendu formant une sorte de bielle. La machine auxiliaire est maintenue. Prix, 7.725 francs.

§ 862. **Modèles 1878 (Indret).** — 1° *arrière carré ;* 2° *arrière triangulaire.* — En 1878, l'usine d'Indret a construit quelques torpilles, qui constituent deux types spéciaux connus l'un sous le nom de « *arrière carré* », et l'autre sous celui de « *arrière triangulaire* » ; ces dénominations leur viennent de la forme donnée aux ailerons horizontaux.

La longueur de la torpille (4m,42) est la même pour les deux types. Le premier (*arrière carré*) a sur son gouvernail vertical deux papillons dont la déformation facilite le réglage en direction. La machine est toujours du système Brotherood, mais elle est en bronze phosphoreux au lieu d'être en fonte. Ce qui constitue une

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

supériorité pour ce type, c'est l'augmentation de la charge explosive, la suppression des engrenages pour la manœuvre du piston hydrostatique et le remplacement de la machine auxiliaire par un servo-moteur. Prix, 5.660 francs.

§ 863. **Modèle 1880 (4m,42, 5m,75).** — MM. Whitehead ont mis au jour, en 1880, des torpilles de 4m,42 et de 5m,75 en tout semblables au modèle 1878, à arrière carré, décrit ci-dessus, à l'exception de la machine Brotherood qui a été remplacée par la machine Whitehead. Nous ne voyons dans cette substitution du moteur qu'une raison de brevet, c'est-à-dire une question d'exonération pour le constructeur; car la machine Brotherood, à la confection d'un joint près, était plus simple et partant plus avantageuse. Prix 7.625 et 8.815 francs.

§ 864. **Modèle 1880 modifié.** — Ce modèle apparait dans le courant de la même année. La modification, très heureuse du reste, consiste dans le fractionnement de la tige d'immobilisation, l'adoption d'un nouveau genre de bielle verticale, et l'addition de deux armatures de renfort à la jonction du flotteur arrière et du réservoir; toutes choses facilitant notablement les opérations de réglage.

§ 865. **Modèle 1882 (3m,75).** — L'année 1882 nous donne la torpille de 3m,75, qui n'a été pour ainsi dire qu'un essai; car il existe relativement peu de torpilles de ce modèle. Ce type est caractérisé par le placement de la chambre des régulateurs sur l'arrière du réservoir, par l'adoption d'un régulateur spécial de pression, par le mode de fixation de la machine sur la cloison-support, et la suppression du cadre pour le gouvernail de profondeur; modifications qui ont été totalement supprimées dans la suite. Il est cependant bon d'ajouter à l'actif de ce modèle une deuxième augmentation de la charge et une consolidation de la queue.

§ 866. **Modifications aux Modèles 1877-1878.** — A peu près à la même époque, les torpilles des modèles 1877 et 1878 sont transformées en assez grand nombre. Les modifications consistent dans l'augmentation de la charge, le report de la chambre des régulateurs sur l'arrière du réservoir, et l'adoption de la palette

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

russe. Cette palette est placée sur le côté et agit sur l'enveloppe du régulateur de pression pour le modèle 1877 transformé. Pour le modèle 1878, cette palette est munie d'un espion et se trouve placée au-dessus du flotteur Æ, ce qui entraîne l'obligation d'avoir une chambre étanche pour la bielle qu'elle manœuvre.

Les tiges de stoppage et d'immobilisation sont supprimées ; le compteur est placé à l'intérieur, et reçoit son mouvement d'un excentrique situé sur l'avant de l'arbre ; la machine est également vissée dans la cloison-support.

L'arrière de ces torpilles est en bronze phosphoreux ; le compartiment spécial des engrenages est supprimé, et se trouve formé par l'extrémité du flotteur arrière et le support de la queue cloisonnés *ad hoc*. Le système d'attache de la queue est constitué par quatre boulons, dont les écrous sont taillés en engrenages et manœuvrés par un pignon central unique, le tout servant alors à régler la torpille en direction ; car ce système n'a d'autre but que d'obliquer plus ou moins et dans le sens voulu le gouvernail vertical. Mais il entraîne la suppression des écrous ogivaux et la confection de tout l'arrière en un seul morceau ; c'est là un avantage à faire entrer en ligne de compte. Le système d'immobilisation est également interne, et reçoit sa commande par l'extrémité du mécanisme de stoppage. Certaines de ces torpilles ont, en outre, des soupapes de conservation d'air.

§ 867. **Modèle 1885 (4m,40, 5m,75)**. — Les dispositions qui caractérisent ce modèle ont été décrites en détail § 849. En voici la récapitulation :

La queue est d'une seule pièce rigide. Le gouvernail horizontal n'est plus protégé par un cadre à l'Æ. Les ailettes Schwartzkopf sont adoptées. L'installation des engrenages est modifiée. Une disposition spéciale est mise en usage pour la soupape de chargement et de conservation d'air. Le mécanisme de stoppage et celui d'immobilisation du GH sont placés tout entiers dans la chambre de la machine, ce qui supprime le mécanisme de la roue striée et sa transmission. La soupape de prise d'air est équilibrée, et son levier porte une palette russe. Prix 7.100 et 8.200 francs.

§ 868. **Modèle 1885 modifié**. — Ce modèle décrit § 858

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

diffère du précédent par la suppression des soupapes équilibrées. La boite des soupapes est remplacée par une soupape de prise d'air analogue à celle du modèle 1880.

§ 869. **Modèle 1886 (4m,40, 5m,75).** — Ce modèle se distingue du précédent, comme nous l'avons vu § 859, par quelques détails de construction. On y remarque surtout une notable augmentation de la charge de coton-poudre. En outre tous les cônes de charge de ces torpilles sont interchangeables. La vitesse moyenne atteint 28 à 28,5 nœuds. Prix 6.925 et 8.420 francs.

§ 870. **Conclusion.** — En résumé, depuis dix ans, la construction des torpilles automobiles n'a pas fait de progrès bien remarquables; on était certes en droit d'attendre mieux, en considérant la marche rapide que suivent en France toutes les industries.

Les types qui semblent aujourd'hui donner les meilleurs résultats sont les modèles 1885 modifié et 1886, et encore sont-ils loin de la perfection; car l'ouverture brusque de la soupape de prise d'air, alors que la torpille est encore dans le tube, est essentiellement défectueuse, à cause de la vitesse avec laquelle les hélices se mettent en mouvement. Mais ce défaut, qui a motivé les essais faits avec les soupapes équilibrées, pourrait facilement disparaître. La solution a déjà été proposée et essayée. Il suffirait de ne pas changer la disposition et la manœuvre de la soupape de prise d'air, et de faire agir sur un second obturateur une palette russe, lorsque la torpille est dans l'eau; cet obturateur pourrait être aussi sensible que l'on voudrait, attendu que sa fonction serait extrêmement simplifiée et que la question de parfaite étanchéité deviendrait secondaire.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

7E PIE. — CHAPITRE V

OPÉRATIONS PRÉLIMINAIRES AU LANCEMENT DES TORPILLES WHITEHEAD

Les divers organes qui composent une torpille ayant été passés en revue, il reste à voir comment on peut en assurer le bon fonctionnement avant de lancer l'engin.

Sans nous arrêter au détail complet de toutes les vérifications, ce qui nous entraînerait trop loin et présenterait un médiocre intérêt, nous allons examiner les principales opérations en vue, à savoir : le *réglage*, le *balancement* et les *tirs de réglage*.

RÉGLAGE

§ 871. **Assiette et flottabilité.** — Faire l'*assiette* d'une torpille, c'est la lester pour lui donner une certaine flottabilité et la mettre dans de bonnes conditions d'équilibre, quand le cône de charge est muni de sa charge de combat ou d'une charge dite *d'exercice* ayant même poids et même centre de gravité que la première (1).

L'assiette comprend trois opérations :

1° Déterminer l'équilibre de la torpille dans le sens longitudinal ;

2° Déterminer l'équilibre dans le sens transversal ou latéral ;

3° Mettre le lest en place.

Habituellement, dans les torpilles réglementaires, le lest se répartit dans les évidements du pendule et sur l'Æ de la cloison-support de la machine.

(1) Dans les tirs de réglage, cette charge est formée par du sable mélangé à de la sciure de bois, ou par un mandrin en bois de sapin ajusté dans le cône de charge, et dont on complète le poids avec des lingots cylindriques en plomb fixés à demeure dans des trous percés symétriquement autour de l'axe du mandrin et suivant sa direction.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Le constructeur cherche, autant que possible, à faire coïncider le centre de gravité du réservoir d'air avec le centre de carène de la torpille ; et, dans la répartition du lest, il s'applique à placer le centre de gravité de la torpille sur la verticale contenant le centre de carène et le centre de gravité du réservoir d'air.

La torpille qui se trouvera dans les meilleures conditions d'équilibre sera évidemment celle qui, sans donner de bande, aura ces trois points sur la même verticale.

1° *Équilibre dans le sens longitudinal.* — Après avoir adopté une différence de tirant d'eau entre l'AV et l'AR (1), l'équilibre dans le sens longitudinal s'obtient de la manière suivante :

Le réservoir d'air étant préalablement chargé à la pression de régime, la torpille munie de ses différents mécanismes est mise toute montée dans une caisse remplie d'eau de mer ou d'eau douce, suivant sa destination (fig. 208). Dans le cas où le réser-

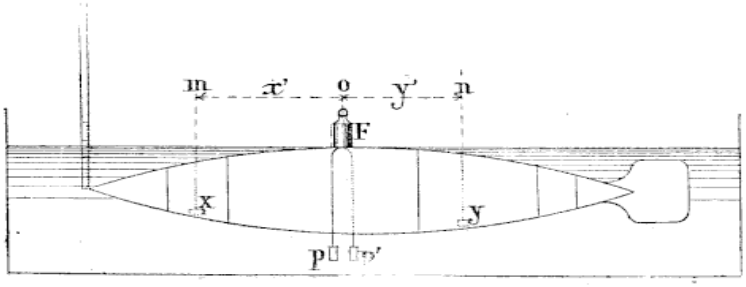


Fig. 208.

voir ne peut être chargé, le poids de son air est remplacé par deux poids p et p' tels que $p = p'$, et $p + p' =$ le poids d'air. Ces poids sont suspendus au milieu du réservoir, en tenant compte du volume d'eau qu'ils déplacent (2).

(1) Le tirant d'eau, c'est-à-dire la distance comprise entre l'axe de la torpille et la surface de l'eau, se mesure au moyen d'une règle graduée, en bois léger. Lorsque les torpilles ont des trajectoires ascendantes, il est bon que le tirant d'eau ait 2 à 5cm de plus à l'AV qu'à l'AR.

(2) Si les poids sont en fonte, par exemple, il faut ajouter au poids de l'air du réservoir une fraction de ce poids égale à $\frac{1}{6,2}$.

En effet, soient P le poids d'air et q le poids équivalent de fonte dans l'eau ; la densité de la fonte étant 7,2, on a

$$P = q - \frac{q}{7,2} = q\,\frac{6,2}{7,2};$$

d'où

$$q = P\,\frac{7,2}{6,2} = P + \frac{P}{6,2}.$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On met ensuite un poids F suffisant pour amener la génératrice supérieure de la torpille à fleur d'eau, en le plaçant de façon à obtenir la différence de tirant d'eau voulue.

Soient :

x le poids à couler dans les évidements du pendule,

y le poids à couler sur l'Æ de la cloison-support,

f la flottabilité que l'on veut donner à la torpille,

$F - f = Q$ le poids total à répartir en x et en y.

Imaginons les trois plans transversaux passant par les centres de gravité de F et de y et par le centre d'oscillation du pendule ; enfin appelons x et y les distances mo et no des plans extrêmes au plan du milieu. On a les deux équations :

$$xx' = yy', \quad (1)$$

$$Q = x + y ; \quad (2)$$

d'où

$$\frac{x}{y} = \frac{y'}{x'}, \qquad \frac{x+y}{y} = \frac{y'+x'}{x'} ;$$

$$y = \frac{Qx'}{y'+x'},$$

y étant déterminé, l'équation (2) donne

$$x = Q - y.$$

2° *Équilibre dans le sens transversal.* — Cet équilibre ayant une grande influence sur les trajectoires, il faut s'appliquer à répartir le poids dans le flotteur Æ de façon que la torpille ne donne pas de bande. Toutefois le réservoir d'huile (§ 825) se vidant successivement, et sa position se trouvant à tribord du plan diamétral, il se produit en marche une bande sur bâbord qui atteint à la longue 20′. Dès lors, il vaut mieux équilibrer transversalement avec une bande de 10′ sur tribord, de façon qu'à la fin du parcours la bande ne soit que de 10′ sur bâbord.

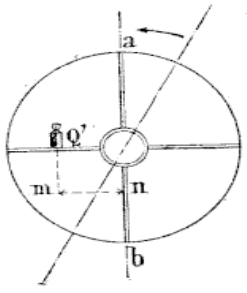


Fig. 209.

En tous cas le degré de bande s'obtient à l'aide d'un niveau posé sur un croissant, qui embrasse le diamètre extérieur de l'hélice vers le réservoir d'air, et sur lequel est marquée la trace du plan longitudinal de la torpille.

Si la bande est sur *tribord*, par exemple, on place sur l'aileron de *bâbord* (fig. 209), et à la distance *mn* de l'axe *ab* (10^{cm} à

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

peu près), un poids Q′ suffisant pour redresser la torpille, et qui correspondra au lest transversal.

La différence $y - Q'$ donnera alors le poids qu'on devra souder, au lieu de y entier, en b à l'intérieur de la torpille pour le lest longitudinal.

3° *Mettre le lest en place.* — Admettons que, dans le calcul de l'équilibre longitudinal, on ait trouvé $y = 8^{kg}$, et que le poids Q′ destiné à rétablir l'équilibre transversal soit reconnu de $1^{kg},20$; on commencera par couler en b (fig. 210) un poids de plomb égal à $8^{kg} - 1^{kg},20 = 6^{kg},20$. Puis on lui soudera un poids de $1^{kg},20$, que l'on placera de telle sorte que son centre de gravité passe à une distance $m'n'$ de la verticale VT égale à mn de la figure 209.

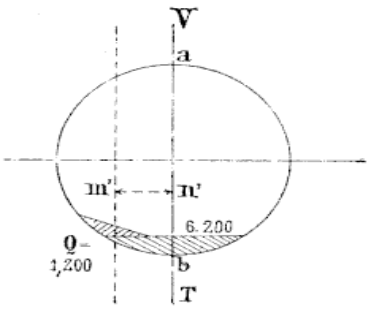


Fig. 210.

Pour lester le pendule du poids de plomb x, on rend bien horizontal l'axe de la torpille ; et on coule le plomb dans les évidements, de façon que les tampons du pendule restent en contact avec leurs butoirs sans forcer.

§ 872. **Détermination du centre de gravité.** — Pour déterminer le centre de gravité de la torpille, on recherche d'abord :

1° La position de ce point dans le sens horizontal ;

2° Sa position dans le sens latéral.

Ces opérations, qui n'ont lieu qu'après la répartition du lest, se font avec la charge d'exercice ou celle de combat dans le cône de charge, et quand tous les mécanismes sont en place.

Déterminer la position du centre de gravité dans le sens horizontal. — Soit G le centre de gravité ; pour fixer rigoureusement sa position, il faut deux cotes :

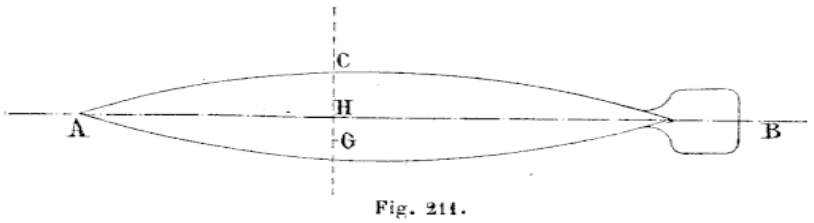


Fig. 211.

1° AH, distance de sa projection sur l'axe AB à la pointe A (fig. 211) ;

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

2° GH, distance du centre de gravité au-dessous de l'axe de la torpille.

Pour déterminer AH, ou mieux la projection C du point G sur le dessus de la torpille, on opère de la manière suivante :

On entoure la torpille, à peu près vers le milieu du réservoir à air, d'une élingue en fil de fer DFK (fig. 212), dont les bouts, en forme d'œil, sont capelés sur des encoches pratiquées aux extrémités d'une forte barre en fer DOK. On croche sur cette barre le croc de la poulie inférieure d'un palan ; puis on soulage la torpille à une faible distance des tréteaux qui la supportent, sans les retirer. On fait mouvoir l'élingue par de petits coups de marteau, soit sur l'avant soit sur l'arrière pour mettre la torpille en équilibre avec son axe horizontal.

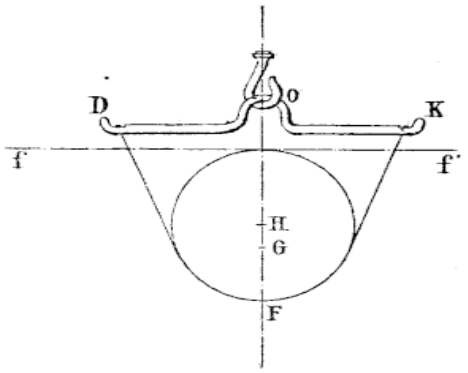


Fig. 212.

Quand cette position est obtenue, on fait contretenir la pointe ou la queue au moyen d'une règle en bois qui repose sur le sol, et qu'un homme tient en place. On tend alors un fil ff' venant toucher les branches verticales de l'élingue, en ayant soin de tracer sa projection sur la partie supérieure de la torpille à l'avant et à l'arrière du fil de fer.

La projection C se trouve évidemment entre ces deux traits.

Remarque. — Pour ne pas avoir à faire courir la torpille sur l'élingue, on peut opérer de la manière suivante :

On la place le plus près possible du centre de gravité, de façon qu'elle ait la pointe en bas. On établit l'équilibre au moyen d'un poids Q (fig. 213) appliqué sur les ailerons horizontaux au point q.

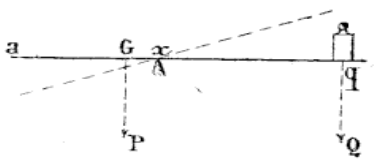


Fig. 213.

Soient x le point autour duquel oscille la torpille, et P le poids de celle-ci, y compris le poids Q ; le centre de gravité G sera donné par la relation

$$Q \times xq = P \times xG ;$$

d'où

$$xG = \frac{Q \times xq}{P} .$$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 873. **Déterminer la position du centre de gravité dans le sens latéral.** — *Premier procédé.* — La torpille étant toujours dans les mêmes conditions que précédemment, placer sur deux tréteaux deux règles métalliques, au-dessus desquelles on dépose la torpille entre des tasseaux t, t (fig. 214), en ayant soin de la faire reposer sur les extrémités cylindriques de même diamètre de son réservoir d'air Enrouler par le milieu de ce dernier un fil métallique bien serré pour empêcher son glissement. Faire ensuite tourner la torpille pour mettre les ailerons verticaux horizontalement, et la maintenir ainsi à la main jusqu'à ce qu'un poids Q, accroché sur le fil, détermine son équilibre dans cette position.

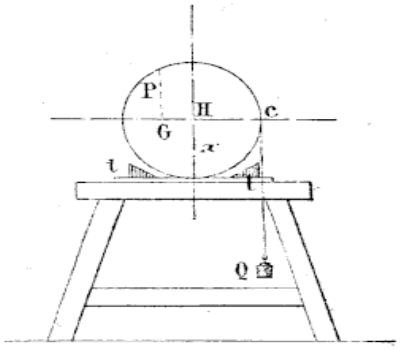


Fig. 214.

Si P est le poids de la torpille, on aura

$$P \times GH = Q \times HC;$$

d'où

$$GH = \frac{Q \times HC}{P}.$$

Pour la valeur de HC, il y a lieu de tenir compte du rayon du fil de métal employé.

Le centre de gravité H du réservoir étant situé sur l'axe de la torpille, la distance du point G au point H reste la même le réservoir étant chargé ou non.

Deuxième procédé. — On peut encore opérer de la manière suivante :

Mettre la torpille toute montée dans une caisse d'expériences (fig. 215), en conservant le réservoir d'air libre. Par le travers du centre de gravité, suspendre un poids P au bout d'une ligne enroulée plusieurs fois pour empêcher le glissement.

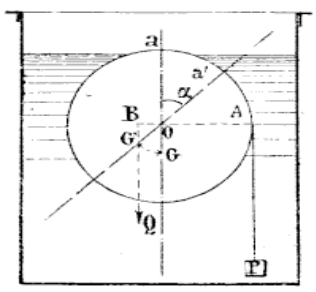


Fig. 215.

Le poids P est tel que la torpille s'immerge le plus possible, mais sans couler. Sous l'action de ce poids, la torpille s'inclinera d'un certain angle α, et le centre de gravité G viendra en G′ ; dans cette position,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la torpille reste en équilibre sous les actions contraires de son poids Q et du poids P ; on a

$$Q \times OB = P \times OA ;$$

mais dans le triangle OBG'

$$OB = OG' \times \sin \alpha ;$$

d'où

$$Q \times OG' \sin \alpha = P \times OA.$$

Il vient enfin

$$OG' \text{ ou } OG = \frac{P}{Q} \times \frac{OA}{\sin \alpha}.$$

L'arc aa' étant mesuré en millimètres, la valeur de l'angle α est donnée par la relation

$$\alpha = \frac{360^\circ \times aa'}{2\pi \times OA}.$$

§ 874. **Détermination du centre de carène.** — D'abord on indique la trace g (fig. 216) du plan vertical passant par le

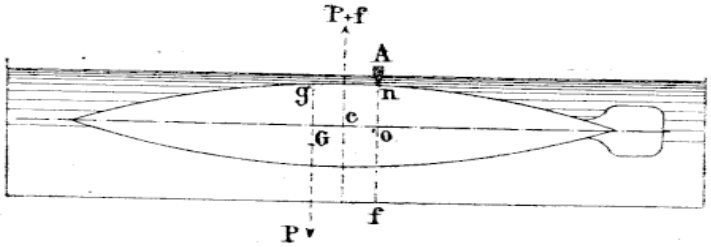


Fig. 216.

centre de gravité G par un repère placé à la partie supérieure de la torpille sur son plan longitudinal ; puis on opère comme il suit pour déterminer le centre de carène c :

On tamponne le trou d'évacuation de l'arbre moteur, pour que, une fois dans la caisse d'expériences, la torpille se trouve dans les mêmes conditions d'équilibre que lorsque la machine fonctionne. Le volume de la chambre d'évacuation des cylindres et de l'intérieur creux de l'arbre des hélices étant $1^{lit},500$ pour les torpilles de $4^m,40$ et 2 litres pour celles de $5^m,80$, il y a lieu de ne pas négliger cet élément, dont l'action de bas en haut s'exerce sur un bras de levier assez grand, et par suite est bien différente suivant que les capacités considérées sont pleines d'air ou d'eau.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On immerge complètement la torpille, en la maintenant sous l'eau au moyen d'un couteau renversé A, dont le support est fixé sur les bords de la caisse ; et on la déplace dans un sens ou dans l'autre pour la mettre horizontale et en équilibre sous le couteau. On marque la trace n du plan vertical on passant par le couteau, et on mesure gn.

Si P est le poids de la torpille, f sa flottabilité, $P + f$ représente la poussée hydrostatique agissant au centre de carène c.

De son côté, gn mesure la distance qui existe entre la trace du couteau et celle du centre de gravité G.

Toutes ces quantités étant connues, on obtient la distance du centre de carène c au centre de gravité G par la relation :

$$(P + f) \times oc = P \times oG;$$

d'où

$$oc = \frac{P \times oG}{P + f}.$$

La distance $gn = Go$ étant connue, et la longueur oc étant déterminée, on obtiendra

$$Gc = Go - oc.$$

La torpille sera d'autant mieux construite que le point c se trouvera plus rapproché de G.

§ 875. **Régler une torpille pour l'eau douce.** — Pour qu'une torpille puisse être lancée dans l'eau douce avec la même assiette et la même flottabilité que dans l'eau de mer, il suffit de diviser le lest en deux parties, l'une fixe, l'autre mobile. Celle-ci, sous forme de plaques, sera rapportée sur la première avec des vis. Pour la navigation en eau douce, il suffira de retirer le lest mobile que l'on déterminera comme il suit :

Soient

- P poids total de la torpille lestée pour la mer ;
- f sa flottabilité ;
- d densité de l'eau de mer.

Le volume V de la torpille sous immersion complète est

$$V = \frac{P + f}{d}.$$

Soit P′ le poids qu'elle doit avoir pour que sa flottabilité reste

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

égale à f dans l'eau douce, la densité de l'eau douce étant égale à 1, et le volume V restant le même, on a

$$V = P' + f,$$
$$P' = V - f;$$

P et P′ étant connus, le poids du lest mobile est égal à $P - P'$.

§ 876. **Étude des forces agissant sur la torpille.** — Lorsque nous avons développé la théorie des régulateurs (§ 807), nous avons fait abstraction des forces extérieures qui agissent sur la torpille et qui en modifient le fonctionnement. Ces actions sont : la pesanteur, la poussée hydrostatique, la réaction de l'eau sur le gouvernail, sur les propulseurs et sur la carène.

C'est seulement quand l'analyse de ces forces sera terminée que l'on pourra se rendre un compte exact de ce qui se passe en réalité, et qu'il sera possible de combiner les actions des régulateurs pour leur permettre de combattre ces influences d'une manière efficace et de faire naviguer la torpille à une immersion constante et déterminée.

§ 877. **Influence des positions relatives du centre de gravité et du centre de carène.** — La torpille est soumise à l'action de son poids P appliqué au centre de gravité G (fig. 217). De son côté, la poussée hydrostatique, sous immersion

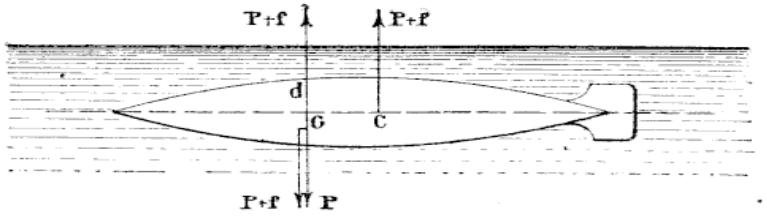


Fig. 217.

complète, donne naissance à une force $P + f$ égale au poids de l'eau déplacée; suivant que la flottabilité f est positive ou négative, la torpille flotte ou coule. Cette force est appliquée au centre de carène C.

Composons les deux forces précédentes; pour cela, appliquons en G, en sens contraire l'une de l'autre, deux forces égales et parallèles à $(P + f)$; il restera une force f appliquée au centre de gravité G, et un couple dont le moment est égal à $(P + f) \times Cd$.

En résumé, la pesanteur et la poussée hydrostatique donnent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

naissance à une force appliquée au centre de gravité, qui est la *flottabilité*, et à un couple qui est le *couple de flottabilité*.

Supposons la torpille horizontale; trois cas peuvent se présenter :

1° Si G est sur l'AV de C, la torpille immergée sous l'eau tendra à naviguer la pointe en bas, par l'action de son *couple de flottabilité* qui la fait incliner dans cette direction;

2° Si G est sur l'AR de C, elle s'inclinera la pointe en haut;

3° Si G et C sont sur la même verticale, elle restera droite.

Donc toute disposition reportant le centre de carène sur l'AV du centre de gravité aura pour effet d'incliner la torpille la pointe en haut et par suite de la faire remonter; c'est le cas des torpilles renflées à l'avant comme celles à gros cônes.

Au contraire, toute disposition reportant le centre de carène sur l'AR du centre de gravité fera incliner la torpille la pointe en bas; c'est le cas des torpilles effilées à l'avant.

Il est à remarquer d'ailleurs que, tandis que le centre de carène est un point fixe, il n'en est pas de même du centre de gravité qui se déplace pendant le parcours de la torpille, à mesure que l'air s'échappe. D'autre part, la flottabilité f augmente en raison de l'air dépensé; et, pendant ce temps, le poids P diminue de la même quantité; $P + f$ reste donc constant. Il en résulte que le couple de flottabilité augmente lorsque, dans son mouvement, le centre de gravité s'éloigne du centre de carène, et diminue lorsqu'il s'en rapproche.

La dépense d'air a pour effet de reporter le centre de gravité sur l'arrière. Si donc la torpille, une fois chargée, a son centre de carène à l'avant du centre de gravité, *le couple de flottabilité* augmente; et, par suite, la tendance à monter ne fait que s'accroître pendant le parcours.

Au contraire, pour une torpille ayant le centre de carène sur l'arrière du centre de gravité, la tendance à descendre diminue constamment; il arrive même que, pour certaines torpilles, cette tendance change de signe après s'être annulée. Ce fait se produit lorsque le centre de gravité passe sur l'arrière du centre de carène.

On voit qu'il serait bon de construire la torpille de manière à faire coïncider son centre de gravité, son centre de carène et le centre de gravité du réservoir d'air; le couple de flottabilité se-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

rait alors constamment nul. Lorsque cette condition ne se trouve pas réalisée, les torpilles les mieux équilibrées sont celles où le centre de gravité passe par le centre de carène vers le milieu de leur parcours.

On doit chercher à atteindre ce but quand, faisant l'assiette d'une torpille, on est conduit à la lester pour assurer à la flottabilité une valeur convenable. C'est cette valeur qui détermine le poids du lest qu'on doit ajouter dans le cas d'une flottabilité trop grande. Mais ce lest pouvant être réparti de différentes manières, il faudra se rapprocher autant que possible de la position qui fait coïncider le centre de gravité de la torpille et son centre de carène pour une charge moyenne d'air dans le réservoir.

§ 878. **Action du gouvernail de profondeur ou GH. Influence de la bande.** — Supposons que la torpille ne donne pas de bande, et mettons le gouvernail en bas (fig. 218 ; la réaction de l'eau F est normale à sa surface et passe par le centre D

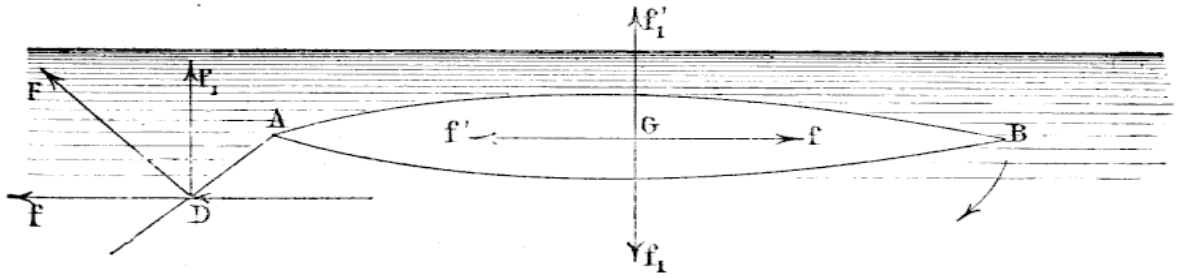


Fig. 218.

des actions élémentaires. Décomposons-la en deux forces f et f_1 parallèlement et perpendiculairement à l'axe de la torpille et dans le plan longitudinal vertical. Appliquons au centre de gravité G de la torpille deux forces f, f' opposées, égales et parallèles à f, et deux forces f_1 et f'_1 opposées, égales et parallèles à f_1.

Les deux forces f_1 forment un couple tendant à faire tourner la torpille dans le sens de la flèche; les deux forces f constituent aussi un couple agissant dans le même sens. Ces deux couples se combinent pour former le *couple d'évolution.*

f' diminue la vitesse de la torpille sans modifier sensiblement sa direction ; car, en raison de l'inclinaison du gouvernail qui est toujours faible, cette force est petite.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Quant à f_1', elle tend à faire monter la torpille parallèlement à elle-même ; et cette action a certainement une grande influence sur la trajectoire, car f_1' diffère peu de F.

En résumé, le gouvernail de profondeur n'a pas seulement pour action de changer la direction de l'axe de la torpille par rapport à l'horizon ; il provoque aussi des mouvements d'*immersion* ou d'*émersion*, suivant qu'il est en haut ou en bas ; ces mouvements sont toujours inverses de ceux qui résultent de son inclinaison.

Si, dans son parcours, il n'y avait aucune raison pour que la torpille eût plus souvent le gouvernail dans un sens que dans l'autre, ces actions se compenseraient approximativement ; mais il n'en est pas ainsi. Le couple de flottabilité, par exemple, amène à des inclinaisons inverses du gouvernail, suivant que le centre de carène est à l'AV ou à l'AR du centre de gravité.

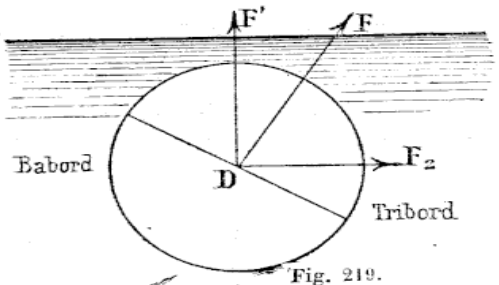


Fig. 219.

En outre supposons que, par suite d'une mauvaise répartition du lest ou par le fait de la prépondérance d'une de ses hélices, la torpille donne de la bande sur *tribord*, par exemple, et qu'elle ait le gouvernail *en bas*. La réaction F (fig. 219), s'exerçant toujours normalement à la surface du gouvernail, se décompose en une force F′ située dans le plan longitudinal, et en une force horizontale F^2 (fig. 220) perpendiculaire à l'axe de la torpille, et qui a pour effet de faire venir celle-ci sur *bâbord*. Si la torpille donnait de la bande sur *bâbord*, c'est sur *tribord* que la composante horizontale la pousserait.

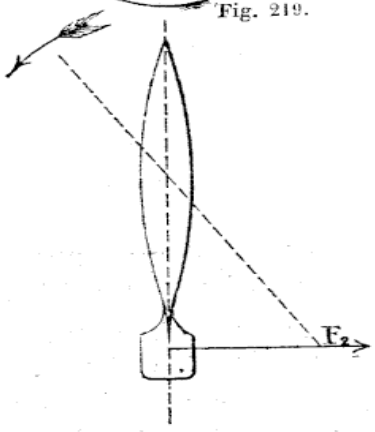


Fig. 220.

Inversement si l'on suppose le gouvernail en haut, la torpille viendra sur *tribord*, si elle donne de la bande sur *tribord ;* sur *bâbord*, si elle donne de la bande sur *bâbord*.

En résumé, le gouvernail en haut fait venir du côté de la

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

bande, le gouvernail en bas, du côté opposé. Dès lors il y a changement de direction chaque fois que la torpille coupe son plan d'immersion normal, ou même qu'elle change suffisamment d'inclinaison : de là des lacets en direction. Toutefois l'existence de la bande n'entraîne pas forcément une trajection sinueuse en direction. Tel est le cas des torpilles qui se mettent immédiatement en équilibre sous toutes les actions qui les sollicitent, comme les nouvelles torpilles à grande vitesse.

§ 879. **Action des hélices.** — Sous l'influence de ses hélices, la torpille, qui possède sur son axe une stabilité excessivement faible, tend à donner de la bande du côté opposé au sens du mouvement de celle des deux hélices qui est prépondérante.

Pour le démontrer, prenons l'hélice $\mathcal{R}$ dont le pas est à gauche. Le sens du mouvement étant indiqué par les flèches (fig. 221),

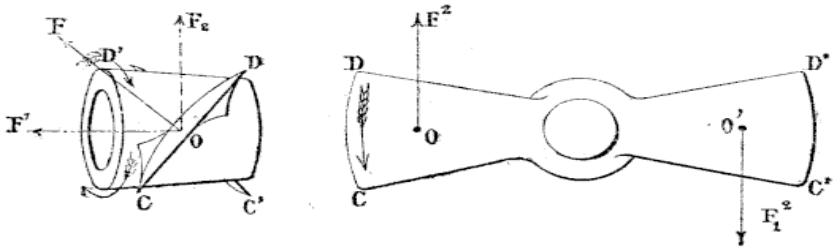


Fig. 221.

considérons l'aile CD qui descend. L'eau détermine sur cette aile une réaction F normale à sa surface et passant par son centre d'action O. Cette force se décompose en deux autres F′ et F² ; la première produit la propulsion ; la seconde tend à faire pivoter la torpille autour de son axe longitudinal dans un sens opposé au mouvement de l'hélice considérée, et en même temps à relever sa queue.

On trouverait semblablement la composante F_1^2 agissant au centre d'action O′ de l'aile C′D′ qui monte ; et on verrait qu'elle tend à faire pivoter la torpille dans le même sens que ci-dessus, mais à abaisser sa queue. Les deux forces F² et F_1^2 concourent donc pour faire rouler la torpille dans le sens opposé au mouvement de l'hélice $\mathcal{R}$, c'est-à-dire sur tribord ; mais leurs effets s'entre-détruisent pour soulever ou abaisser la queue de la torpille.

On prouverait de la même manière que l'hélice $\mathcal{N}$, dont le pas est à droite, tend à faire rouler sur *bâbord*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En résumé, *l'hélice N fait donner de la bande sur bâbord, et l'hélice Æ sur tribord.*

De nombreux essais ont permis de constater que si, pour une vitesse normale donnée, l'égalité est établie entre les composantes des deux hélices, et que le gouvernail vertical soit convenablement réglé, les trajectoires horizontales restent rectilignes tant qu'on ne change rien au fonctionnement de la machine. Il n'en est plus de même lorsqu'on fait varier la vitesse des hélices au-dessus ou au-dessous de la vitesse normale, en serrant plus ou moins le ressort du régulateur de pression. *Si l'on augmente la vitesse, c'est l'hélice N qui devient prépondérante. Si l'on diminue la vitesse, c'est l'hélice d'Æ.*

La pression de la machine étant déterminée par des essais de vitesse, quand on constate pendant les lancements que la bande est réellement due aux hélices et non à une mauvaise assiette de la torpille, on corrige ce défaut en modifiant le pas d'un des propulseurs ; c'est en général sur l'hélice Æ que s'opère la correction.

§ 880. **Actions simultanées de la pesanteur, de la poussée hydrostatique, du GH et des hélices. Valeurs à donner aux angles d'égalité d'actions.** — Cherchons maintenant l'action exercée sur la trajectoire par l'effet combiné de ces différentes forces. Soit une torpille ayant le *centre de carène* sur l'avant du *centre de gravité* et naviguant au-dessus de son plan d'immersion IM (fig. 222). Soumise à l'action seule de ses régulateurs, elle arriverait à ce plan sous l'inclinaison *ab* de l'égalité d'actions *pointe en bas ;* mais par l'effet de son couple de flottabilité, elle va se redresser suivant une direction *a'b'*, telle que le couple d'évolution du gouvernail de profondeur mis en bas fasse équilibre au couple de flottabilité agissant en sens inverse.

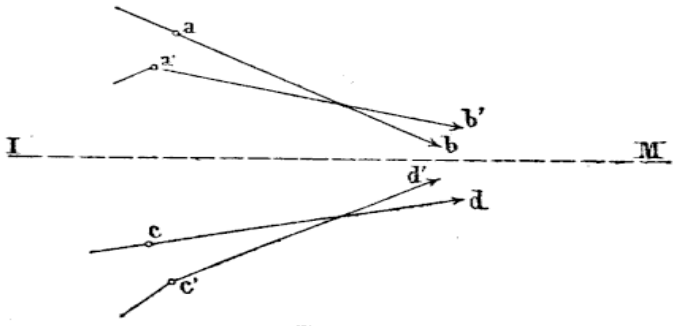


Fig. 222.

De même, quand la torpille remontera à son immersion, ce ne

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

sera plus sous l'inclinaison *cd* de l'égalité d'actions *pointe en haut*, mais sous une inclinaison plus grande *c'd'* et avec le gouvernail en bas.

Il en résulte que si la torpille considérée a ses deux égalités d'actions égales, elle naviguera comme si l'angle d'égalités d'actions *pointe en bas* était plus petit que l'angle d'égalité d'actions *pointe en haut*.

Voici le moyen de remédier à cet inconvénient. Puisque la torpille est relevée d'un certain angle par son couple de flottabilité, augmentons de cet angle l'égalité d'actions pointe en bas, diminuons de la même quantité l'angle d'égalité d'actions pointe en haut, et nous aurons une torpille naviguant comme si elle n'était pas soumise à ce couple de flottabilité.

Au contraire, pour les torpilles ayant le centre de carène sur l'arrière du centre de gravité, il faudra augmenter l'égalité d'actions *pointe en haut* et diminuer l'égalité d'actions *pointe en bas*.

§ 881. **Courses des régulateurs d'immersion et de leur transmission**. — Avant de décrire les diverses opérations que comporte le réglage pratique des régulateurs d'immersion, nous allons examiner le moyen de déterminer *à priori* la course du piston hydrostatique et celle des tampons du pendule pour des déplacements donnés du GH : ces déplacements s'entendent de ceux du rebord arrière du gouvernail.

Le bouton supérieur *b* (fig. 223) du balancier du pendule et le

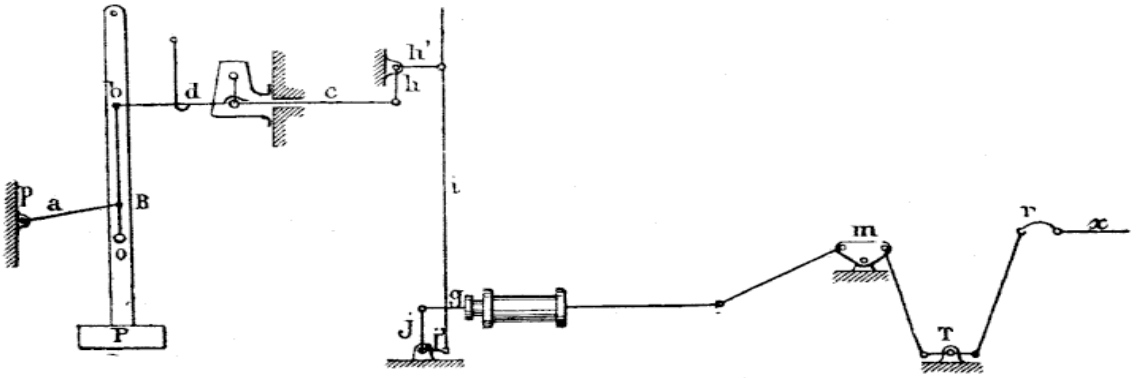


Fig. 223.

GH étant liés entre eux par les divers organes de la transmission [rappelons que les déplacements du piston du servo-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

moteur sont identiques à ceux de son tiroir (§ 831)], chacune des courses du premier, tant qu'elle ne dépasse pas une certaine valeur, doit se transmettre au second suivant un rapport constant; c'est-à-dire que les levées et les abaissements du GH doivent être (à l'obliquité des bielles et au jeu des articulations près) égaux aux produits des déplacements similaires du bouton b par un facteur, appelé *facteur de transmission*, qui résulte des rapports des différents bras de leviers de la transmission.

Pour les torpilles de $4^{m},40$ du modèle 1880 (que nous prendrons comme exemple dans ce qui va suivre), les bras du balancier T sont égaux, ceux des mouvements à sonnette m et hh' le sont également; le facteur f est donc donné par la relation

$$f = \frac{J}{J'} \times \frac{x}{r}.$$

Or nous avons dans ce modèle : $J = 26^{mm}$, $J' = 15^{mm}$, $x = 68^{mm}$, $r = 26^{mm}$; d'où

$$f = \frac{26}{15} \times \frac{68}{26} = 4,5.$$

§ 882. **Données pratiques**. — Les chiffres suivants fournis par l'expérience indiquent les meilleures conditions à remplir pour maintenir la torpille du modèle considéré à une immersion constante et déterminée pendant tout son parcours :

1° L'action du piston doit être telle que, sous son influence seule, c'est-à-dire quand la torpille est horizontale, le GH ne prenne pas plus de 10^{mm} de levée ou d'abaissement;

2° L'action du pendule doit être telle que, lorsque les actions des régulateurs sont *opposées*, on obtienne 6^{mm} de *levée du GH* pour la *prépondance pointe en bas*, et 6^{mm} *d'abaissement pour celle pointe en haut*.

Il y a avantage en effet à ne pas donner trop de course aux tampons du pendule, pour diminuer les chocs dus à son inertie pendant les lancements à la poudre.

Dans ces conditions, les *égalités d'actions* sont environ de 1° *pointe en haut* et de 1° 15′ *pointe en bas*.

§ 883. **Course du piston hydrostatique**. — La torpille étant horizontale et OBb (fig. 224) représentant la position du balancier du pendule, quand le GH est dans le plan de son cadre; si le piston hydrostatique est reporté sur l'AV, et par conséquent

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

si le GH vient de 10^{mm} en dessous de son cadre, le bouton b se place en b' ; et, d'après ce qui a été dit plus haut, 4,5 étant le facteur de transmission, le déplacement bb' est donné par

$$bb' = \frac{10^{mm}}{4,5} = 2,2.$$

De même, quand le piston est poussé vers l'AR, le GH étant à 10^{mm} au-dessous du plan du cadre, le déplacement bb'' du bouton b est encore de $2^{mm},2$.

Le déplacement total $b'b''$ du bouton b est $4^{mm},4$.

Mais quand le bouton b passe de b' en b'', le balancier oscille autour de l'axe O qui est point fixe, puisque, par hypothèse, le pendule ne fonctionne pas ; et le point B d'articulation de la tige du piston hydrostatique décrit l'arc B′B″.

La course du piston devant être, à l'obliquité de bielle près, égale à l'arc B′B″ est donnée par le rapport

$$\frac{B'B''}{b'b''} = \frac{OB}{Ob};$$

d'où

$$B'B'' = \frac{b'b'' \times OB}{Ob}.$$

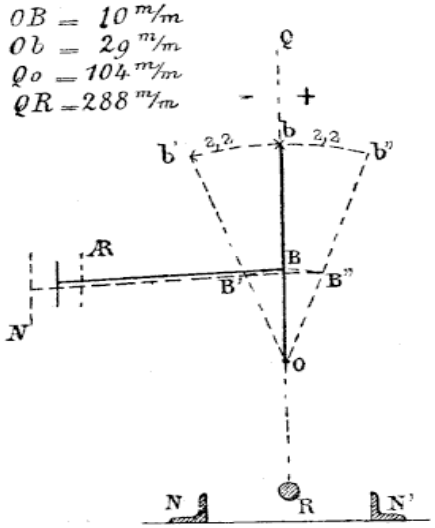


Fig. 224.

Introduisons dans cette formule les valeurs indiquées par le tableau joint à la figure, on a

$$B'B'' = \text{course du piston} = \frac{4,4 \times 10}{29} = 1^{mm},517.$$

Donc, pour procurer au bouton b, sous l'action du piston seul, un déplacement de $4^{mm},4$ correspondant à 20^{mm} du GH (10 en dessus et 10 en dessous du cadre), il faut donner $1^{mm},517$ de course au piston (1).

(1) Il existe à cet effet deux prisonniers (non indiqués au § 817) rivés sur le piston hydrostatique, qu'ils suivent dans son mouvement. Ces prisonniers traversent librement le chapeau du piston ; et un écrou vissé dans leur extrémité arrière permet de modifier la course de cet organe dans certaines limites.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 884. **Course des tampons.** — OB′b' (fig. 225) représentant la position du balancier quand le piston est sur l'Æ, lorsque la torpille sera inclinée *pointe en bas* sous l'action du GH, placé à 10^{mm} en dessous de son cadre, le balancier, en oscillant autour du point fixe B′, sous l'action du pendule, prendra la position O′B′b'''.

A ce moment, le GH, qui était de 10^{mm} en dessous de son cadre, doit se trouver, d'après ce qui a été dit plus haut (§ 882) à 6^{mm} au-dessus ; par suite, lorsque le bouton b aura parcouru l'arc $b'b'''$ sous l'action du pendule, le déplacement du GH sera de 16^{mm}. Le

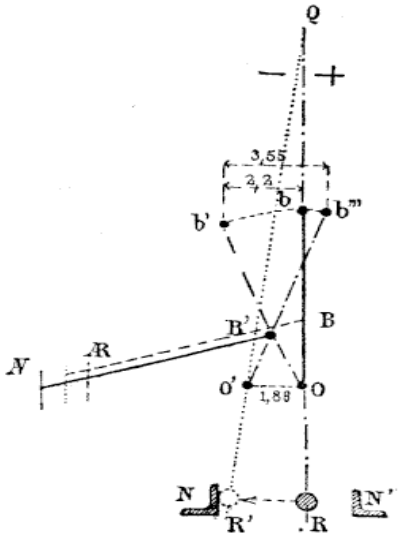


Fig. 225.

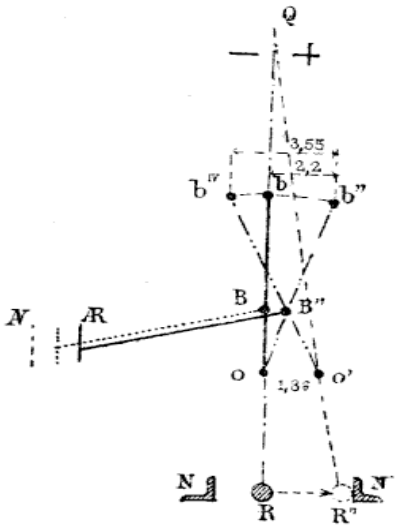


Fig. 226.

facteur de transmission étant 4,5, la valeur de $b'b'''$ sera

$$b'b''' = \frac{16}{4,5} = 3^{mm},55.$$

De même, quand la torpille est en dessous de son immersion, c'est-à-dire le piston sur l'Æ et la *pointe en haut*, on trouve 3^{mm},55 pour la valeur de l'arc $b''b^{iv}$ (fig. 226) décrit par le bouton b sous l'action seule du pendule.

Dans les deux cas, la prépondérance du pendule sur le piston est égale à :

1er *cas*, fig. 225, $b'b''' - bb' =$
2^{e} *cas*, fig. 226, $b''b^{iv} - bb'' =$
$\Big\}$ 3^{mm},55 — 2^{mm},2 = 1^{mm}35.

Mais pour faire passer le balancier de OB′b' (fig. 225) en O′B′b''',

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le pendule entraine le point O en O′; la valeur de l'arc OO′ est donnée par

$$\frac{OO'}{b'b'''} = \frac{OB}{Bb};$$

d'où $$OO' = \frac{b'b''' \times OB}{Bb} = \frac{3{,}55 \times 10}{19} = 1^{mm},86.$$

Comme on a, d'autre part, $QR = 288^{mm}$, $QO = 104^{mm}$, la course RR′ du tampon AV est donnée par la relation

$$\frac{RR'}{OO'} = \frac{QR}{QO};$$

d'où $$RR' = \frac{OO' \times QR}{QO} = \frac{1{,}86 \times 288}{104} = 5^{mm}.$$

De même, on obtient pour la fig. 226 :

$$OO' = 1^{mm},86; \quad RR'' = 5^{mm}.$$

§ 885. **Amplitude d'oscillation du pendule.** — Lorsque le tampon AV porte sur son butoir (fig. 227), le pendule a décrit un angle égal à la *demi-amplitude pointe en bas* donnée par la relation

$$\frac{x}{360^\circ} = \frac{RR'}{2\pi \times QR},$$

$$x = \frac{360 \times 5}{2\pi \times 288} = 1^\circ.$$

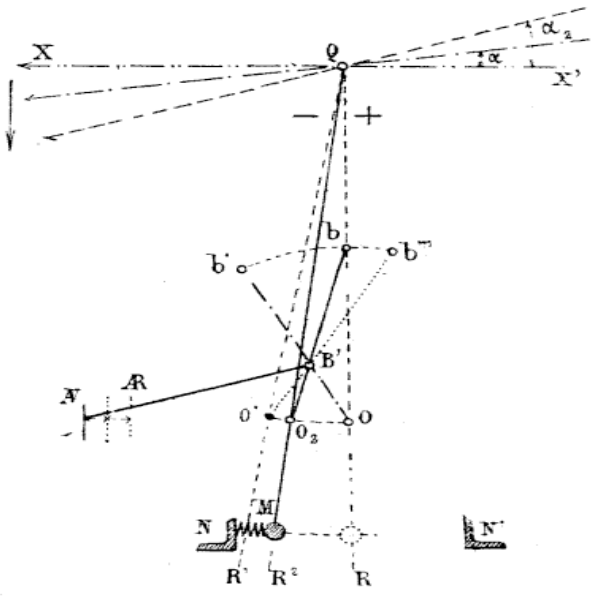


Fig. 227.

Le GH est alors à 6^{mm} au-dessus de son cadre.

On trouve également 1° pour la valeur RR″ de la *demi-amplitude pointe en haut* (fig. 228), quand le GH est à 6^{mm} en dessous de son cadre.

L'amplitude d'oscillation du pendule est donc de 2°.

§ 886. **Egalités d'actions.** — Si les tampons n'étaient pas retenus par des ressorts, quand le pendule ramène le bouton de *b′* en *b* (à ce moment le GH est dans le plan de son cadre),

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

l'angle RQR′ (fig. 227) qu'il fait avec sa position première QR, lorsque la torpille s'incline *pointe en bas*, serait égal à l'angle α que l'axe de la torpille fait avec l'horizontale XX′ à cet instant. Dans notre exemple, α vaut 37′ environ ; il serait également de 37′ *pointe en haut* (fig. 228).

Cet angle étant trop faible, on a recours à la tension des ressorts M et M′ pour retarder l'action du pendule. On leur donne une tension telle que les *égalités d'actions pointe en bas et pointe en haut* n'aient lieu que quand l'axe de la torpille fait avec l'horizontale XX′ un angle α^2 de 1°,15′ (fig. 227) dans le premier cas, et α^3 de 1° (fig. 228) dans le second.

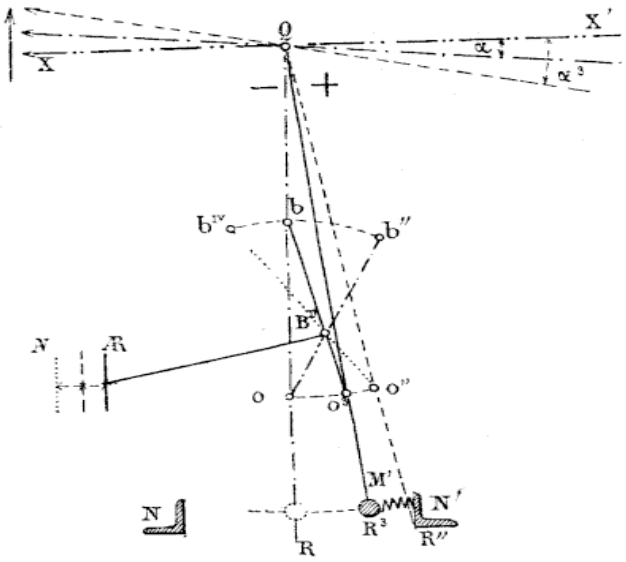


Fig. 228.

Mais, dans chaque cas, lorsque l'égalité d'actions se produit, le pendule n'a décrit qu'un angle de 37′. Pour que les tampons portent sur leurs butoirs, c'est-à-dire pour obtenir les prépondérances bb''' *pointe en bas*, ou bb^{iv} *pointe en haut*, il lui reste encore à faire un angle de 38′ ou de 23′.

§ 887. **Déplacements maxima du GH ; positions correspondantes du bouton** *b*. — Nous avons vu que le bouton *b* prend son amplitude quand la torpille s'éloigne de son immersion *la pointe en haut* ou *la pointe en bas*.

Dans le premier cas, le piston sur l'AV fait prendre au balancier la position OB′b' (fig. 229) ; et le pendule agissant dans le même sens le fait passer en O″B′b^6.

Le déplacement bb^6 du bouton *b* tend donc à devenir égal à

$$bb' + b'b^6 = 2^{mm},2 + 3^{mm},55 = 5^{mm},75,$$

pour *l'amplitude pointe en haut*.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Dans le second cas, on trouve également $5^{mm},75$ pour la valeur du déplacement bb^5 du bouton correspondant à *l'amplitude pointe en haut*.

Dans ces conditions, 4,5 étant le facteur de transmission, pour chaque déplacement bb^6 ou bb^5 du bouton b, le GH devrait se déplacer de part et d'autre de son cadre d'une quantité représentée par

$$5,75 \times 4,5 = 25^{mm},8.$$

Mais il ne peut en être ainsi. Car la demi-course du servo-moteur n'étant que de $6^{mm},5$, le déplacement maximum du GH, dans un sens ou dans l'autre à partir de sa position moyenne, sera donné par le rapport $\frac{x}{r}$ des bras de levier du GH multiplié par $6^{mm},5$; en remplaçant x et r par leurs valeurs, on a

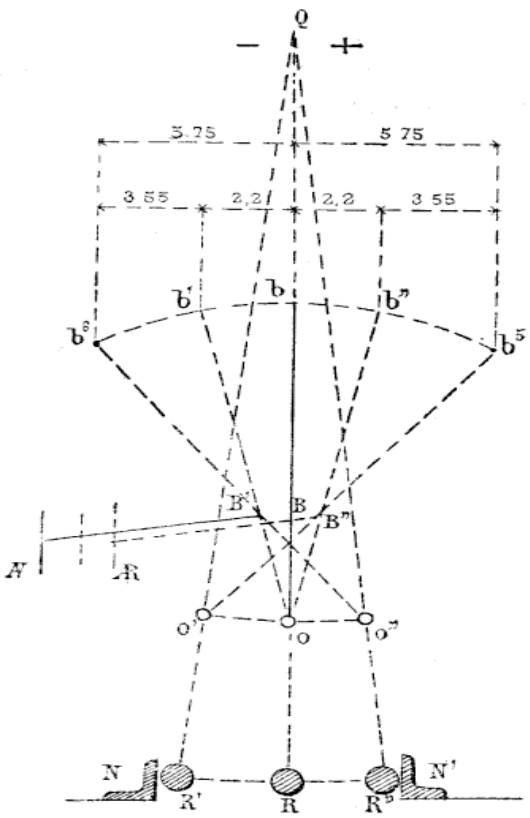


Fig. 229.

$$\frac{68}{26} \times 6,5 = 17^{mm}.$$

Ce déplacement sera atteint chaque fois que le bouton b se déplacera sur l'$\mathcal{A}$ ou sur l'$\mathcal{R}$ de la verticale d'une quantité exprimée par

$$\frac{17}{4,5} = 3^{mm},77.$$

Donc, quand sous les actions concordantes des deux régulateurs le bouton b se déplacera de $3^{mm},77$ (1) dans un sens ou dans l'autre à partir de sa position moyenne, le GH prendra toute son amplitude en haut ou en bas. Nous allons d'ailleurs voir dans le paragraphe suivant comment s'absorbe le reste du

(1) On trouve $4^{mm},2$ pour les torpilles du modèle 1876, et $4^{mm},7$ pour celles de $5^{m},75$ du modèle 1880.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

déplacement maximum donné ci-dessus, que le bouton tend à prendre sous la double action du piston et du pendule.

§ 888. **Utilité de fractionner la tige du piston hydrostatique**. — La demi-course du piston du servo-moteur étant de $6^{mm},5$, le mouvement correspondant du tiroir est aussi de $6^{mm},5$. En outre de ce mouvement utile à la transmission, le tiroir peut encore se déplacer de $1^{mm},5$, distance entre chacun des collets Z (fig. 230) de sa bielle et l'écrou (§ 831) qui limite la course des collets.

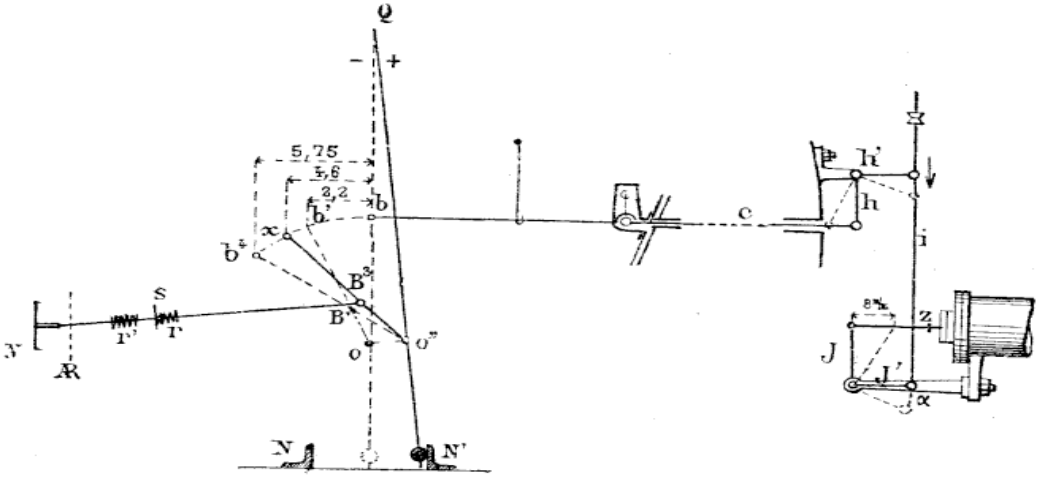


Fig. 230.

L'extrémité du bras J peut donc parcourir 8^{mm}, dont $6^{mm},5$ seulement sont utiles à la transmission.

Quel est le déplacement possible correspondant du bras J′ et, par suite, du bouton *b*, quand la torpille est *au-dessus* de son immersion, la pointe en haut, par exemple ?

Entre le déplacement α du bras J′ et celui du bras J, on a la relation

$$\frac{\alpha}{8} = \frac{J'}{J}; \quad \text{d'où} \quad \alpha = \frac{8 \times J'}{J};$$

et comme $J = 26^{mm}$ et $J' = 15^{mm}$,

$$\alpha = \frac{8 \times 15}{26} = 4^{mm},6.$$

Le bouton *b* ne peut donc se déplacer que de $4^{mm},6$, longueur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

qui correspond au déplacement de $3^{mm},77$ du paragraphe précédent augmenté de la quantité correspondant au jeu précité du tiroir. Or les actions combinées du piston et du pendule tendent à lui donner un déplacement de $5^{mm},75 = bb^4$; il faut donc absorber $5,75 - 4,6 = 1^{mm},15$ de sa course. Puisque le bouton b doit s'arrêter en x, le balancier du pendule, au lieu de prendre la position $o''B'b^4$, en oscillant autour du point B', viendra en $o''B^3x$.

Le point o passe en o'' sous l'action du pendule, et l'œil de la tige du piston (ce dernier ne pouvant se déplacer, puisque l'un de ses ressorts le pousse sur l'AV) vient de B' en B^3 ; cette tige s'allonge donc de $B'B^3$. Dans ce mouvement, la goupille S comprime le ressort r de l'AR.

Si la torpille était *au-dessous* de son immersion, la pointe en bas, le ressort r' de l'AV serait comprimé.

Dans les deux cas, l'effort des régulateurs étant absorbé par la compression des ressorts de la tige, tout se passe comme si le bouton b pouvait se rendre jusqu'en b^4 ; et les tringles ne peuvent se fausser.

Le fractionnement de la tige du piston hydrostatique est d'autant plus nécessaire qu'au moment du lancement on immobilise pendant un certain temps la bielle verticale I, et, par suite, le bouton b. Dans ce cas encore, l'action des régulateurs se répartit sur les ressorts de la tige.

Pour les torpilles du modèle 1877, le déplacement total du bouton b correspondant au mouvement du tiroir à partir de chaque demi-course n'étant que de $1^{mm},5$, et le déplacement maximum possible du bouton étant de 7^{mm}, les ressorts de la tige doivent absorber $7^{mm} - 1^{mm},5$, soit $5^{mm},5$ dans un sens ou dans l'autre.

§ 889. **Résumé numérique concernant les déplacements du GH et des régulateurs.** — Le tableau suivant donne les résultats des indications des paragraphes précédents pour chaque modèle de torpille :

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

		MODÈLES DES TORPILLES				
		1876	1877	1878	1880	
					de 4m,40	de 5m,75
Déplacement du GH sous l'action.	du piston seul	10mm	7mm	10mm	10mm	10mm
	du pendule seul	18mm	7mm	16mm	16mm	18mm
Course.	du piston hydrostatique.	2mm,6	2mm,6	1mm,517	1mm,517	2mm,6
	des tampons du pendule.	4mm,3	4mm,5	5mm	5mm	4mm,3
Amplitude d'oscillation du pendule.		1°35′	1°54′	2°	2°	1°35′
Égalités d'actions. . .	Pointe en haut.	1°15′	1°20′	1°05′	1°05′	1°15′
	Pointe en bas.	1°10′	1°10′	1°20′	1°20′	1°10′
Tension moyenne des ressorts du pendule.	Tampon AR	0kg,230	0kg,125	0kg,100	0kg,100	0kg,320
	— AV.	0kg,220	0kg,095	0kg,135	0kg,140	0kg,280

§ 890. **Vérification à l'atelier du fonctionnement des régulateurs d'immersion.** — La course du piston hydrostatique et l'amplitude totale d'oscillation du pendule ayant été déterminées théoriquement, comme nous l'avons vu plus haut, il reste à vérifier à l'atelier le fonctionnement de ces appareils.

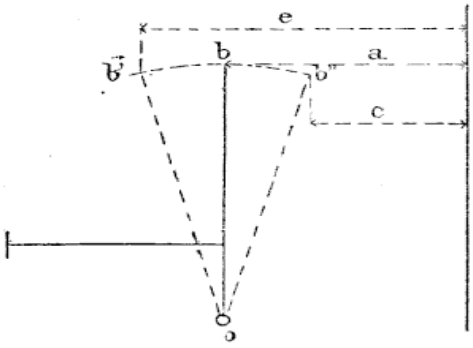


Fig. 231.

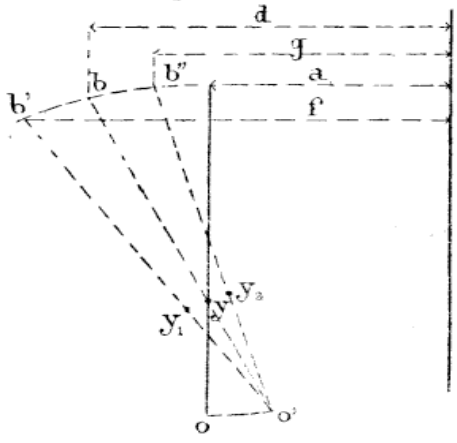


Fig. 232.

Dans ce but, le compartiment des régulateurs étant démonté, on le met sur un plateau de façon que son axe soit horizontal; puis avec une vis de pression on fait mouvoir le piston à bout de course dans les deux sens; et en mesurant les cotes e, c (fig. 231), l'on relève les distances extrêmes du bouton b.

On place ensuite le compartiment dans la position qu'il prendrait si la torpille était pointe en l'air; le pendule à bout de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

course vient porter sur le butoir ÆR. On agit sur le piston. On note les positions b', b'', b (fig. 232) occupées par le bouton aux deux extrémités et au milieu de sa course.

On opère de même en plaçant le compartiment pointe en bas et le pendule à l'AV (fig. 233).

Puis le piston étant à l'ÆR, on fait agir le pendule en sens contraire en inclinant le compartiment pointe en l'air; et quand le bouton b qui s'était d'abord dévié vers l'AV vient se replacer dans sa position initiale b, on mesure l'angle que fait l'axe de la torpille avec l'horizontale. C'est l'angle qui doit produire l'égalité d'actions.

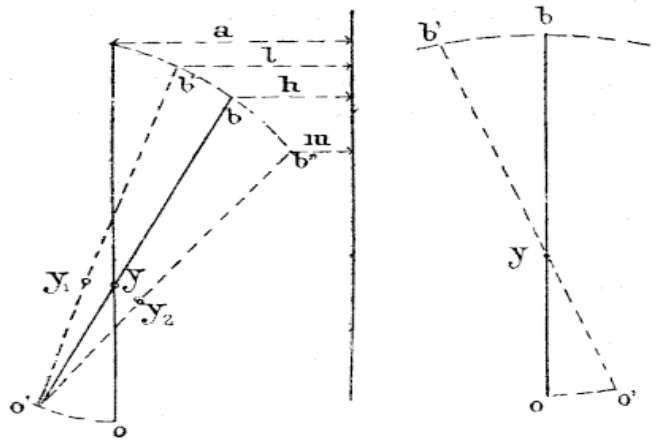


Fig. 233.

On opère de même en plaçant le piston à l'AV et le compartiment pointe en bas.

On dresse alors le tableau suivant :

§ 891. **Déplacements du bouton** b, **et résultats déduits.**

ASSIETTE DE LA TORPILLE	PISTON à mi-course	PISTON sur l'AV	PISTON sur l'ÆR	ÉGALITÉ D'ACTIONS
L'axe horizontal.	a	e	c	
La pointe en l'air.	d	f	g	n degrés.
La pointe en bas	h	l	m	n' degrés.

Les cotes de ce tableau nous donnent les déplacements du bouton b dans les différents cas qui peuvent se présenter.

Course du piston hydrostatique. . . . . $= e - c$
Déplacement du bouton par le piston seul . . . . . $= e - c$
— par le pendule seul . . . . . $= d - h$
Prépondérance du pendule. . { Le piston et le pendule sur l'ÆR. . . . $= g - a$
— sur l'AV. . . . . $= a - l$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Déplacement du bouton à partir de la position moyenne.	Le piston sur l'$\mathcal{N}$, le pendule sur l'$\mathcal{AR}$.	$= f - a$
	Le piston sur l'$\mathcal{AR}$, le pendule sur l'$\mathcal{N}$.	$= a - m$
Égalité d'actions	Piston et pendule sur l'$\mathcal{AR}$	$= n$ degrés
	— sur l'$\mathcal{N}$.	$= n'$ degrés

On vérifie alors si, sur la torpille en montage, les chiffres fournis par ces observations s'accordent avec les données pratiques que nous avons indiquées § 889. On règle en conséquence la tension des ressorts des tampons du pendule.

§ 892. **Autre mode de réglage du piston hydrostatique et du pendule.** — Le procédé de réglage exposé dans les paragraphes précédents tend à être abandonné. On lui reproche d'être basé sur un relevé d'éléments exécuté avec les pièces montées, au préalable, d'une façon plus ou moins convenable, et d'exiger une analyse assez difficile de ce relevé pour corriger, s'il y a lieu, le montage primitif. Dans le nouvel ordre d'idées, on procède comme voici :

1° *Réglage de la course du piston hydrostatique.* — On serre à bloc (sans forcer) les écrous des prisonniers servant à faire varier la course du piston (voir la note du § 883). Puis on les desserre de 2 1/3 ou 4 2/3 tours suivant la longueur de la torpille ($4^m,40$ ou $5^m,75$). Enfin, on prévient leur desserrage par un grain de soudure à l'étain.

2° *Réglage de la course des tampons du pendule.* — A l'aide de rondelles en laiton (non en cuir) enfilées sur les tiges des tampons, ajoutées ou retranchées, on donne aux tampons une course de 6^{mm} sur les torpilles de $4^m,40$, et de 3^{mm} sur les torpilles de $5^m,75$.

3° *Réglage des ressorts du pendule.* — On mesure la force des ressorts, qui doivent correspondre aux données suivantes :

	Torpilles de $4^m,40$.	Torpilles de $5^m,75$.
Ressort $\mathcal{N}$	130^{gr}	215^{gr}
— $\mathcal{AR}$	110^{gr}	175^{gr}
Tolérance	+ ou — 10^{gr}	+ ou — 15^{gr}

Quand un ressort est trop fort, on le retire, et on comprime ses spires à la main en tournant à visser. Si, au contraire, un ressort est trop faible, on allonge les spires en tournant à dévisser. On tâtonne jusqu'au réglage voulu.

4° *Réglage de la position des butoirs du pendule.* — On serre

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

énergiquement les butoirs; on monte le pendule, et on met la chambre horizontale. Cela fait, on mesure exactement la distance entre le bloc pendulaire et le butoir arrière; puis on pousse à la main le pendule sur l'avant sans forcer, et on mesure de nouveau la même distance que ci-dessus. La différence des deux longueurs doit être égale à 6^{mm} pour les torpilles de $4^{m},40$, et à 4^{mm} pour les torpilles de $5^{m},75$. On opère exactement de la même manière pour le butoir avant.

Si les différences n'ont pas la grandeur voulue, on rapporte une cale ou on lime à la partie postérieure du butoir considéré.

Résultats obtenus. — En suivant les indications précédentes, on réalise :

$5^{mm},5$ pour la course totale du piston hydrostatique;
$9^{mm},5$ pour la somme des courses du pendule;
$4^{mm},0$ pour la somme des prépondérances;
$15^{mm},0$ pour la somme des amplitudes.

Sauf les jeux qu'il y a lieu de reprendre aux articulations de la transmission du mouvement des régulateurs au GH, le réglage que nous venons d'exposer reste des années sans se déranger. Il est, pour ainsi parler, l'inverse du réglage habituel; là, on part des mouvements à donner au GH, et on règle les régulateurs en conséquence; ici, au contraire, on règle *a priori* les régulateurs, et les mouvements du GH qui en résultent se trouvent *ipso facto* appropriés aux meilleures trajectoires des torpilles.

§ 893. **Déterminer la tension des ressorts du piston hydrostatique pour des immersions données.** — Pour faire cette opération, on commence par calculer la pression supportée par le piston d'après sa surface et son immersion; on obtient ainsi les charges à appliquer sur les ressorts.

Si nous appelons D le diamètre du piston, H la hauteur d'immersion de son centre et δ la densité de l'eau de mer, le poids P qui agit sur la face avant du piston est en kilogrammes

$$P = \frac{\pi D^2}{4} H \delta.$$

Ce qui donne, dans l'eau de mer : 12^{kg} par mètre d'immersion pour les torpilles modèles 1876, 1877 et 1878, où le diamètre est 122^{mm}; et $12^{kg},390$ pour celles du modèle 1880, où le diamètre est 124^{mm}.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

On dispose alors l'enveloppe du piston, comme l'indique la fig. 234 ; et l'on suspend au croisillon de la vis de tension un plateau sur lequel on place le poids calculé ci-dessus, en y comprenant la tare du plateau.

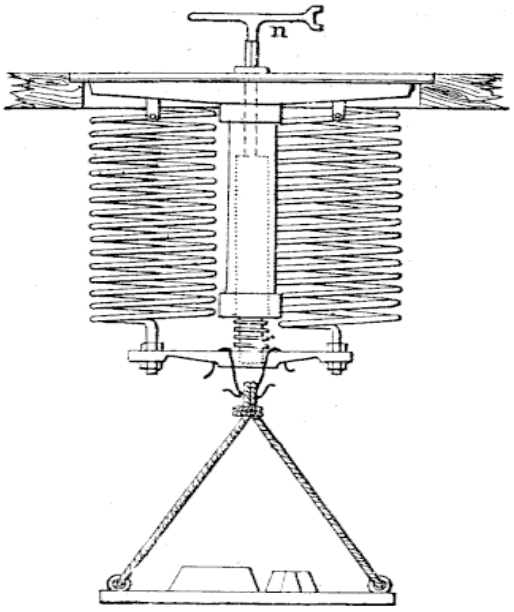


Fig. 234.

A chaque allongement des ressorts pour diverses immersions, on met la vis de tension en contact avec son butoir, en actionnant l'écrou au moyen de sa clef de manœuvre *n*.

A chaque flexion des ressorts, on trace sur cette clef les affleurements du moyeu du piston. L'immersion réglementaire étant de 3^{m}, on compte le nombre de tours de la clef nécessaires pour arriver à ce point, et on le note sur la feuille matriculaire.

On inscrit également sur le même tableau le nombre de tours dont il faut dévisser l'écrou pour amener les ressorts aux différentes flexions marquées sur la clef.

§ 894. **Romaine d'épreuve**. — On se sert aussi dans le même but qu'au paragraphe précédent d'une *romaine d'épreuve*,

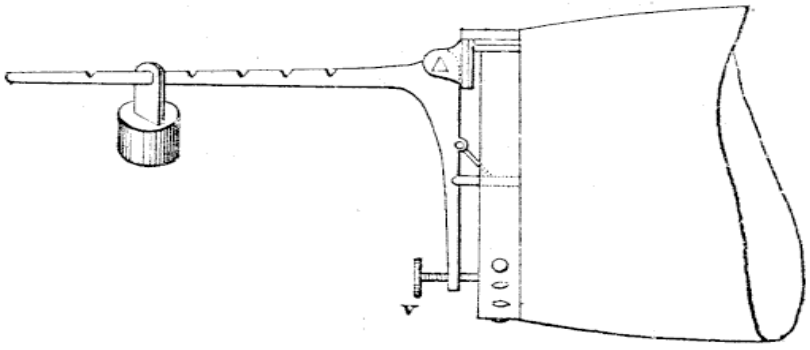


Fig. 235.

dont la fig. 235 suffit à indiquer l'emploi. Son levier est gradué

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pour différentes profondeurs de 50 en 50^{cm}, depuis 1^{m},50 jusqu'à 4^{m},50. Quand on met le poids de la romaine dans l'une des encoches, et qu'on tend les ressorts pour la profondeur correspondante, le piston doit être en équilibre à mi-course.

La vis V sert à placer le piston à mi-course.

§ 895. **Déterminer la longueur de la tige du piston hydrostatique.** — La longueur de cette tige doit être telle que lorsque le piston est à mi-course et l'axe du compartiment horizontal, le balancier du pendule soit vertical. Son réglage comporte les opérations suivantes :

1° Caler le compartiment de manière que son axe étant horizontal, les deux traits qui repèrent le plan diamétral vertical se trouvent sur la verticale d'un fil à plomb.

2° Monter la romaine, et bander les ressorts du piston d'une quantité suffisante pour assurer son bon fonctionnement ;

3° Mesurer la distance B′B (fig. 236) de la tranche arrière du compartiment à l'axe B du support du balancier du pendule ; pour cela on se sert d'une réglette QQ′ (fig. 237) préalablement crochée sur cet axe, et reposant sur une règle R appuyée sur la tranche Æ du compartiment, à la hauteur de l'axe B.

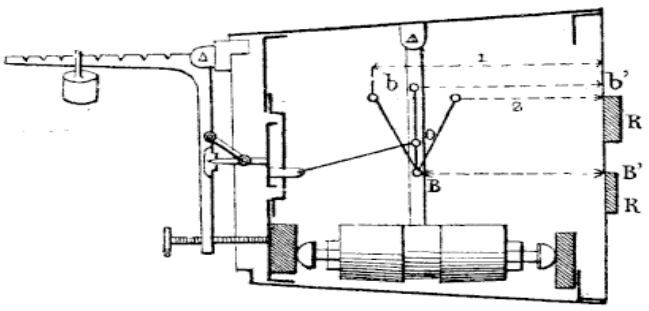


Fig. 236.

4° Monter le balancier B*ob* du pendule, et articuler la tige du piston ;

5° Crocher la réglette sur le bouton *b*, et faire reposer sa

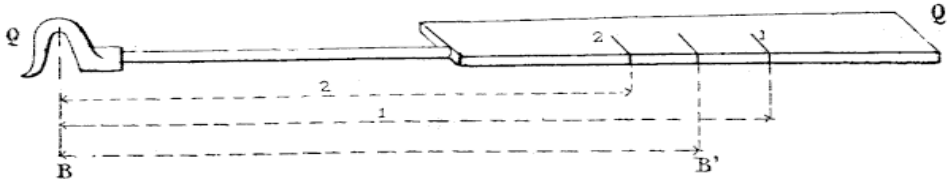


Fig. 237.

partie Æ sur la règle R maintenue à hauteur du bouton *b*

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

6° Mettre le piston hydrostatique sur l'AV, puis sur l'AR, et mesurer les distances correspondantes 1 et 2 entre le point *b'* de la tranche AR du compartiment et le bouton *b*.

Si la moyenne des cotes 1 et 2 est plus *grande* ou plus *petite* que B'B, on *dévisse* ou l'on *visse* la tige du piston hydrostatique d'un nombre de tours déterminé par le pas de la vis qui fixe la tige au piston.

§ 896. **Réglage de la transmission des régulateurs d'immersion au GH.** — Cette opération comprend : 1° le réglage de la tige de transmission; 2° le réglage des tringles reliant le servo-moteur au GH.

1° Pour déterminer la longueur de la tige, on monte le com-

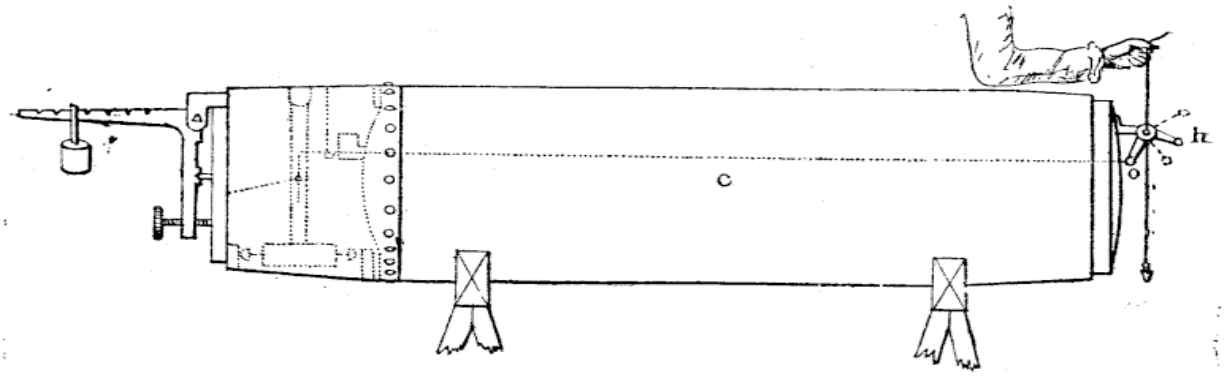


Fig. 238.

partiment des régulateurs sur le réservoir d'air, ce dernier étant placé horizontalement sur deux tréteaux (fig. 238). On introduit la tige *c* dans son tube d'isolement, et on l'articule avec le le-

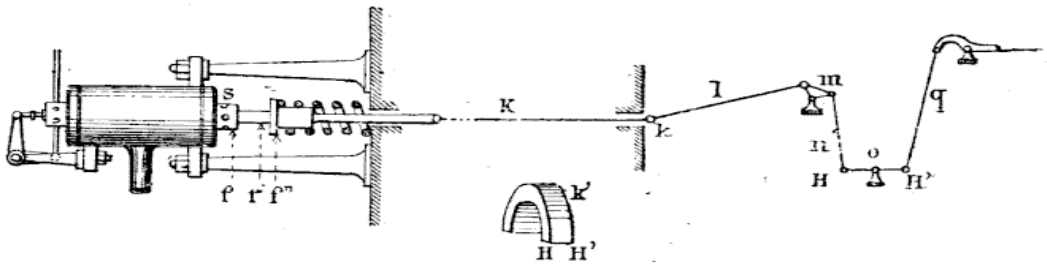


Fig. 239.

vier coudé *h*. Quand on met le piston hydrostatique sur l'AV et sur l'AR, l'articulation *o* doit s'écarter également de chaque côté de

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

la verticale passant par le point d'oscillation du levier coudé. On obtient ce résultat en vissant ou dévissant la tige *c*.

2° Quand le piston du servo-moteur est à mi-course, non seulement le gouvernail de profondeur doit être dans le plan de son cadre, mais encore le balancier HOH′ (fig. 239) doit être parallèle à l'axe de la torpille.

On commence donc par déterminer la position du piston du servo-moteur à mi-course comme nous allons le dire ; puis, après avoir placé le GH dans le plan de son cadre, et réglé la position du balancier au moyen des bielles *n* et *q*, on s'assure que la pièce *k* de jonction de K et de *l* peut être mise en place.

Pour déterminer la mi-course du piston, on met le piston à bloc sur l'AV, et l'on mesure la distance *ff′* entre l'embase de la tige K et le presse-étoupe arrière S ; on amène le piston sur l'AR, et l'on mesure la distance *ff″*. La différence *f′f″* donne la course du piston. On fait une cale *k′* en forme de fer-à-cheval ayant une épaisseur HH′ égale à la moitié de *f′f″* augmentée de la distance *ff′*, et on l'interpose entre le presse-étoupe et l'embase ramenée contre la cale.

Le GH se trouvant dans le plan de son cadre, la pièce *k* doit pouvoir être mise en place. Si les trous de jonction ne correspondent pas entre eux, on modifie en conséquence la longueur de la tige K ; ou bien, on met des cales aux embases des colonnes-supports du servo-moteur, ou on lime ces embases.

Quand on a terminé le réglage de la transmission des régulateurs au GH et celui des tringles des différents mécanismes, on assemble les divers compartiments, après toutefois le commencement de l'opération suivante.

§ 897. **Essais au point fixe du ressort du régulateur de pression**. — Pour que la torpille ne donne pas de bande sous l'action prépondérante de l'une de ses hélices, il est indispensable de déterminer par des *essais au point fixe* la pression à laquelle la machine doit marcher, afin de leur donner une rotation uniforme pendant toute la durée du parcours (§ 879), et pour obtenir en même temps la plus grande vitesse possible. Ces essais servent à déterminer la tension du ressort du régulateur de pression.

Ce ressort devant équilibrer une pression donnée qui agit sur

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

le piston du régulateur, on calcule la charge supportée par le piston, pour 10, 15, 30^{atm}, en multipliant la surface exprimée en centimètres par 1^{kg},033 et par le nombre d'atmosphères. On applique ensuite le poids ainsi trouvé sur le ressort, et l'on constate les flexions correspondantes. A cet effet on mesure la longueur du ressort débandé et on le place verticalement dans un étui cylindrique (fig. 240). On met en place la tige de compression, et on règle le zéro du vernier dont est munie son embase

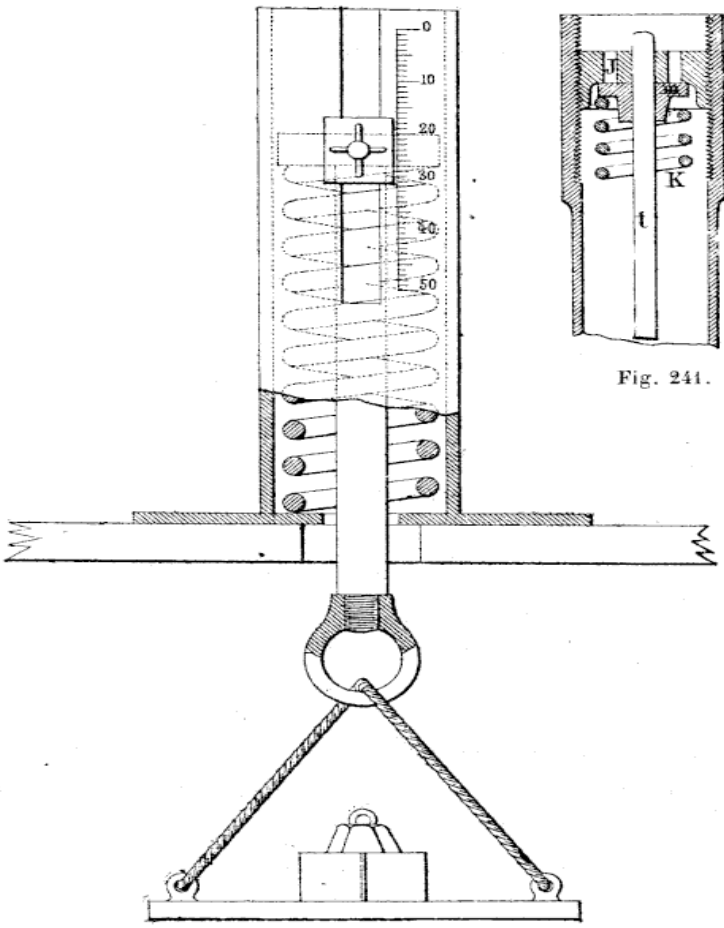


Fig. 240.

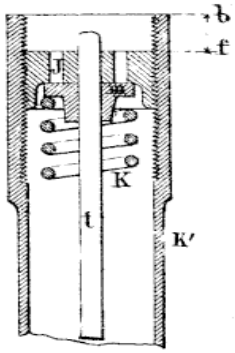


Fig. 241.

avec le zéro de l'échelle graduée qui existe le long de la fente pratiquée sur l'étui. Puis on dispose un plateau, et on y place successivement les différents poids calculés. Les flexions corres-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

pondantes indiquées par l'échelle sont portées sur la feuille matriculaire.

Cette opération terminée, on place le ressort débandé K (fig. 241) dans l'étui K′ du régulateur de pression avec la tige à embase *t*. On applique sur le ressort le guide supérieur *m* et la vis de tension J ; on mesure la distance *bf*. Cette valeur est affectée du signe + ou du signe —, suivant que la face supérieure *f* de la vis de tension se trouve au-dessous ou au-dessus du rebord *b* de l'étui. La quantité *bf* sert à trouver à combien il faut faire descendre dans son étui la vis de tension pour une pression donnée d'après les flexions sus-spécifiées.

La tension du ressort étant réglée à une pression de 25^{atm}, par exemple, pour un parcours de 400 mètres, on introduit la torpille toute montée dans son tube-carcasse ; on fait appuyer sa pointe sur une traverse en bois fixée à l'avant du tube, et l'on bride l'arrière avec du lusin pour empêcher la trépidation ; puis on monte l'appareil spécial indiqué figure 242, comprenant un robinet R à trois voies, un tuyau T et une tubulure B qui prend la place du bouchon de chargement. Voici la suite des opérations :

Relier la tubulure B avec le tuyau venant de l'accumulateur d'air, mettre le robinet R dans la position (1) (fig. 243), et ouvrir la soupape de communication de l'accumulateur pour que la torpille se charge d'air.

Mettre le robinet R dans la position (2), et remplacer le tuyau de l'accumulateur par le manomètre M. S'il accuse plus de 70^{atm}, évacuer l'air en plaçant le robinet dans la position (3). Quand on a obtenu cette pression, revenir à la position (2), et adapter le tuyau T qui aboutit sous le régulateur de pression. Le manomètre communique alors avec le régulateur.

On met sept dents au mécanisme de stoppage, et l'on place le bouton excentré de la roue striée le plus en arrière possible du sens de son mouvement.

Alors on immerge le tube-carcasse ; on ouvre la soupape de prise d'air, et l'on note les indications du manomètre pendant le fonctionnement de la machine. Quand le stoppage s'est produit, on hisse le tube, et on note la pression restante. Suivant qu'elle est plus forte ou plus faible que 25^{atm}, on augmente ou l'on diminue la tension du ressort.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

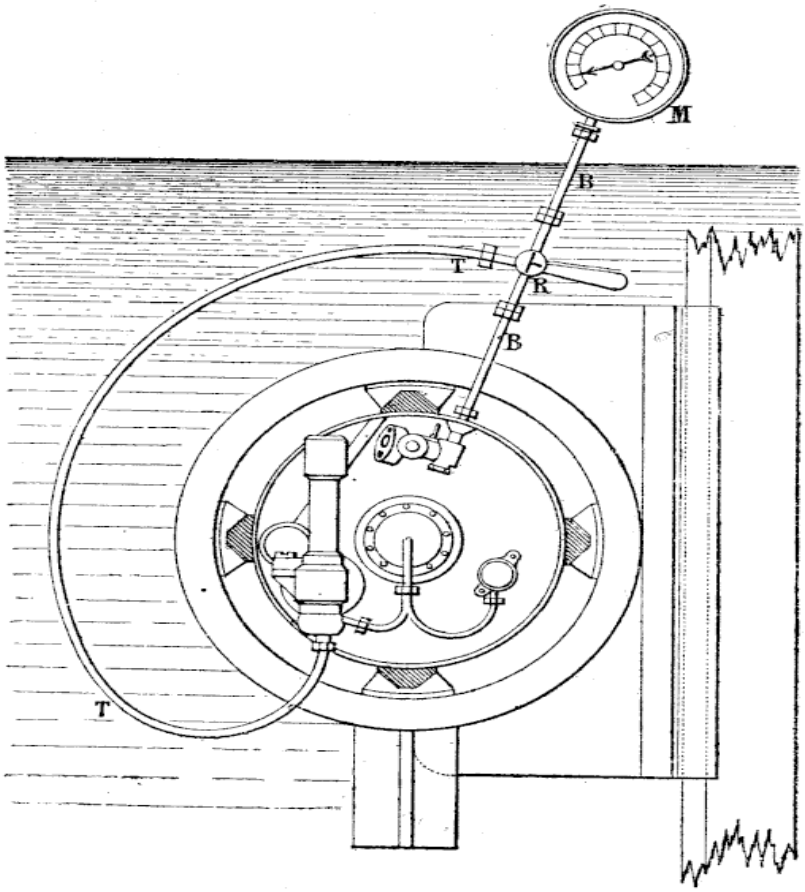


Fig. 242.

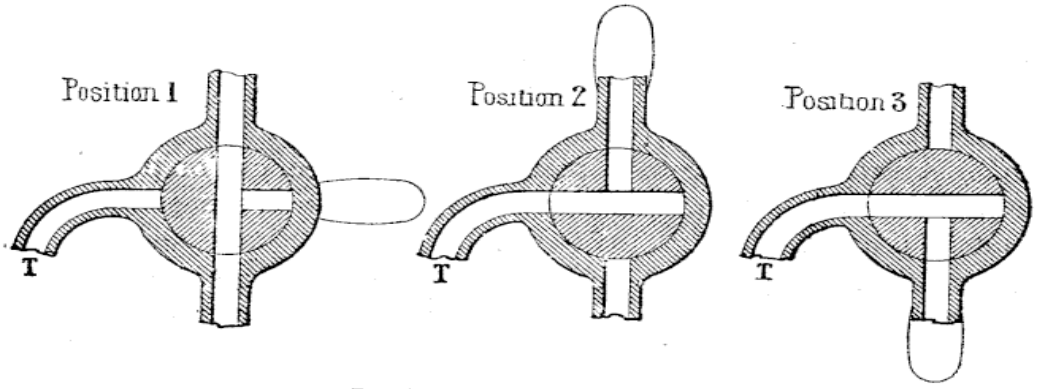


Fig. 243. — *Positions du robinet* R.

On recommence l'expérience jusqu'à ce que la pression restante soit à peu près la même que celle du départ.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Lorsque la pression de régime est déterminée, on note l'enfoncement de la vis de tension, et on l'inscrit à la feuille matriculaire.

Nous avons passé en revue les principales opérations du réglage. Il reste encore quelques détails de montage qui n'offrent aucune particularité intéressante, et sur lesquels nous n'avons pas cru devoir nous appesantir. Nous étudierons maintenant le balancement des torpilles.

BALANCEMENT

§ 898. **Opération du balancement.** — Le *balancement* de la torpille a simplement pour but de confirmer, à l'air comprimé, les résultats déjà obtenus à l'atelier; il comprend trois opérations distinctes qu'on exécute dans l'ordre suivant :

1° Les *vérifications préliminaires*, qui servent à constater que la machine motrice et les différents organes fonctionnent convenablement;

2° Le *balancement proprement dit*, pour régler la bielle verticale et vérifier les actions des régulateurs d'immersion sur le GH;

3° L'*immobilisation du GH*, qui sert, suivant le mode de lancement, à immobiliser le GH pendant un certain temps, et dans une position telle que sous son influence la torpille se rende directement à son immersion.

§ 899. **Vérifications préliminaires.** — La torpille étant placée sur deux tréteaux, après avoir constaté à la main le bon fonctionnement de la machine et des divers organes, on fait une vérification à l'air comprimé, de la manière suivante :

Monter le tuyau de chargement; — enclencher le levier à mâchoire dans la douille à double tronc de cône vissée à hauteur convenable sur la bielle verticale; — régler la tension du régulateur de pression pour une pression de 12 à 15 atmosphères, qui est celle de balancement; — mettre trois ou quatre dents au mécanisme de stoppage, et tendre son ressort; — rabattre sur l'Æ le levier de la soupape de prise d'air; — desserrer peu à peu la soupape d'arrêt de l'accumulateur, au moyen de laquelle

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

on introduit de l'air dans le réservoir jusqu'à ce que la machine se mette en marche, et garder le volant de cette soupape à la main pour la fermer si la machine partait trop vite.

Pendant le fonctionnement, on vérifie si le mécanisme d'immobilisation est déclenché quand le bouton excentré de la roue striée a fait un tour.

Quand le stoppage se produit, on ferme aussitôt la soupape d'arrêt de l'accumulateur, et l'on constate si le stoppage a eu lieu au zéro de la roue à rochet. Enfin, si le bouton excentré de la roue striée n'est pas dans la position voulue pour l'immobilisation du GH qui convient au mode de lancement, on fait tourner à nouveau la machine afin de l'y remettre.

Si le stoppage ne se fait pas au zéro de la roue à rochet, il faut tenir compte de la différence pour le nombre de dents à mettre au compteur lors du lancement.

§ 900. **Balancement proprement dit**. — Les vérifications préliminaires étant terminées, on enlève le cône de charge; on met un joug aux hélices; on charge le réservoir d'air à 25 ou 30 atmosphères; on monte la romaine d'épreuve ou un croisillon à vis centrale permettant de placer le piston hydrostatique en un point quelconque de sa course, et on règle la tension des ressorts pour l'immersion voulue; puis on place la torpille en équilibre et sans bande sur un tréteau.

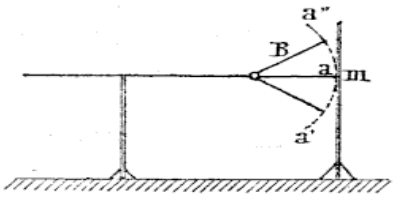


Fig. 244.

On détermine l'horizontalité de l'axe avec un niveau et une règle à pied appliquée contre l'Æ du cadre du GH. On trace sur cette règle un trait correspondant à l'horizontalité qui sert de repère.

On effectue ensuite le balancement, qui n'est qu'une vérification du fonctionnement des régulateurs.

1° La torpille étant horizontale, et l'arête supérieure du cadre se trouvant en regard de *m* (fig. 244), on ouvre la soupape de prise d'air : le piston hydrostatique est poussé à l'AV par l'action de son ressort, et le GH vient en *a'*. On mesure l'abaissement *aa'*, soit $5^{mm},5$. Puis le piston étant mis sur l'Æ au moyen de la vis de tension, on ouvre de nouveau la soupape de prise d'air; le gouvernail vient en *a''*. On mesure la hauteur *aa''*,

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

soit $14^{mm},3$; on a

$$aa'' - aa' = \frac{14,3 - 5.5}{2} = 4^{mm},4.$$

On voit donc que le piston étant à mi-course, le GH, au lieu d'être dans le plan de son cadre, se trouve au-dessus à $4^{mm},4$. Pour l'y ramener, il suffit d'augmenter la distance od (fig. 245) sur la bielle verticale d'une longueur dd' égale au quotient de 4,4 par le facteur de transmission 4,5 (§ 881) ;

$$dd' = \frac{4,4}{4,5} = 0^{mm},97.$$

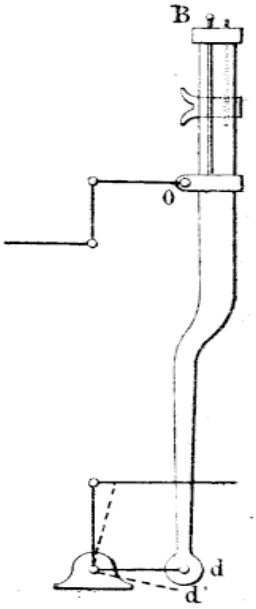


Fig. 245.

Cet allongement s'obtient au moyen de la vis B.

La correction faite, on reprend les cotes aa', aa'', qui doivent être maintenant à peu près égales à

$$\frac{14,3 + 5,5}{2} = 9^{mm},9.$$

A cause des frottements et des gommages, il sera bon d'imprimer avec les mains à la torpille des vibrations longitudinales analogues à celles qu'elle subit en marche, et qui, en ébranlant le pendule, sont de nature à donner de la liberté aux transmissions de mouvement. On recommencera ensuite les opérations précédentes.

2° Le piston étant sur l'A', et la torpille horizontale, on ouvre la prise d'air; sous l'action du piston, le GH descend de $9^{mm},9$, par exemple (fig. 246). Alors on incline peu à peu la torpille pointe en bas, en lui imprimant des vibrations longitudinales de façon à faire battre légèrement le GH. Celui-ci se redresse de

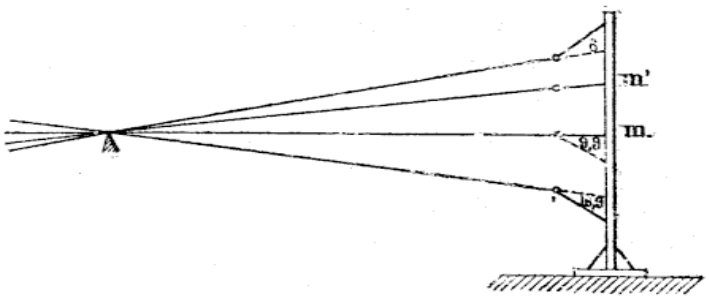


Fig. 246

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

plus en plus par l'effet du pendule ; et quand il se trouve dans le plan du cadre, on marque l'affleurement m' sur la règle. On ferme l'arrivée d'air. La distance mm' donne en millimètres l'*égalité d'actions pointe en bas*. Avec un niveau on peut déterminer en degrés la valeur de cet angle (1° 25′).

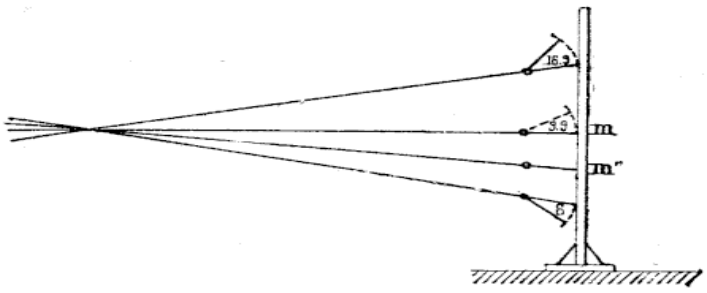


Fig. 247.

3° On ouvre la prise d'air, et on incline la torpille pointe en bas jusqu'à ce que le tampon AV du pendule soit à bloc. Le GH est alors au-dessus du cadre ; on prend la cote 6^{mm}, par exemple, et on ferme l'arrivée d'air. On a la *prépondérance pointe en bas*.

4° On ouvre la prise d'air, et on incline la torpille *pointe en haut* jusqu'à ce que le tampon AR soit à bloc ; le GH est alors au-dessous du cadre ; on prend la cote $16^{mm},9$, et on ferme. On a l'*amplitude pointe en haut*.

5° Le piston étant sur l'AR et la torpille horizontale, on opère d'une façon analogue (fig. 247). On l'incline *pointe en haut ;* la distance mm'' donne en millimètres l'*égalité d'actions pointe en haut*, et le niveau accuse un angle de 1° 05′.

6° Quand l'inclinaison est telle que le tampon AR est à bloc, on mesure la *prépondérance pointe en haut* 6^{mm}.

7° Lorsque le tampon AV est à bloc, on mesure sa levée $19^{mm},9$; c'est l'*amplitude pointe en bas*.

§ 901. **Immobilisation du GH : mise à point du mécanisme.** — On immobilise le GH dans la position la plus favorable pour combattre la plongée de la torpille au départ.

Pour cela, la torpille étant encore sur les tréteaux, on croche le levier à mâchoires dans le curseur de la bielle verticale, en facilitant l'opération par la manœuvre à la main du gouvernail de profondeur.

L'enclenchement effectué, on ouvre la soupape de prise d'air ; le gouvernail se fixe dans une position quelconque, soit en haut, soit en bas. S'il est en haut, par exemple, on verra en suivant

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

les renvois de mouvement, qu'il faut faire descendre la bielle verticale, ce qui sera obtenu en manœuvrant la vis du curseur. On la tournera jusqu'à ce que le gouvernail occupe la position qu'on lui assigne pour le genre de lancement à effectuer. La soupape restant ouverte, le gouvernail doit conserver cette position, quelles que soient les inclinaisons que l'on fait prendre à la torpille.

§ 902. **Observations sur le balancement.** — 1° Le servo-moteur doit être toujours maintenu en parfait état ; il faut veiller avec soin à la confection de ses garnitures, et vérifier son fonctionnement. Car si cet appareil ne transmet pas instantanément au GH les déplacements du régulateur, on n'obtient jamais de trajectoire verticale convenable.

2° Pendant le balancement, il faut noter les cotes aussi rapidement que possible, afin d'avoir durant toute l'opération une pression à peu près uniforme au servo-moteur.

3° Quelquefois on observe, pendant le balancement, que le gouvernail ne prend pas immédiatement la position que doivent lui donner ses régulateurs ; cela tient à une évacuation trop lente de l'air du servo-moteur. Ce fait est dû souvent à l'engorgement de cet appareil par l'huile. Il faut alors purger le servo-moteur en actionnant la bielle verticale à la main.

4° Il arrive fréquemment, pendant le balancement, que le gouvernail oscille, au lieu de se fixer dans une position déterminée. Cela indique une fuite dans l'une des garnitures du piston du servo-moteur. Une partie de l'air qui se trouve dans l'évidement milieu de cet organe passe à travers cette garniture, et arrive directement sur le piston, opposant ainsi à l'air distribué par le tiroir une contre-pression qui contrarie le mouvement et se traduit par une hésitation du gouvernail à prendre sa position d'équilibre. Avec les fortes pressions qu'on emploie, cette fuite ne peut qu'augmenter par la suite ; et l'on ne doit pas hésiter à séparer le cône arrière et à refaire cette garniture.

5° En tous cas, à la fin du balancement, il convient, après avoir enlevé la règle à pied et avoir ouvert la soupape de prise d'air, de mettre alternativement le piston hydrostatique sur l'avant et sur l'arrière, et de faire osciller la torpille en la saisissant par la queue et en s'opposant avec les doigts convena-

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

blement placés aux mouvements du gouvernail. Si le gouvernail cède à la main, on rentre dans le cas 4°. Si, au contraire, les vibrations à donner à la torpille ont besoin d'être très fortes pour faire osciller le gouvernail, il y a trop de frottement ou un bridage dans la transmission.

6° Il peut se faire que les éléments corrélatifs mesurés § 900 (*égalité d'actions*, *prépondérances* et *amplitudes*) ne soient pas respectivement égaux entre eux. Tant que la différence est restreinte, il n'y a pas à s'en préoccuper. Sinon, il faut toucher aux divers organes de régulation et de transmission au GH, y compris le servo-moteur. Mais on doit bien se garder, comme cela se pratique quelquefois, de rectifier le défaut avec la bielle verticale.

7° Pendant le balancement, la pression n'étant que de 25 à 30 atmosphères dans le réservoir, ce dernier se dilate très peu. Mais à 70 atmosphères l'allongement est d'environ $0^{mm},5$. Cette dilatation a pour effet de faire descendre le gouvernail, comme on peut le voir sur la figure 248.

Quand, pendant les essais de recette, elle reste dans les limites

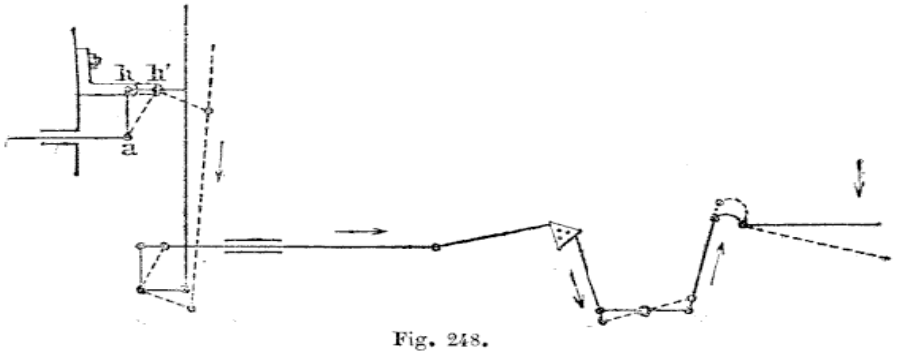


Fig. 248.

que nous venons d'indiquer on ne s'en préoccupe pas ; mais si cette quantité se trouve dépassée, il y a lieu de refuser le réservoir.

Avec les diverses précautions que nous venons d'indiquer, on obtient de bonnes trajectoires ; les affleurements aussi bien que les piquages dans le fond n'ont plus lieu alors du fait du balancement, et ne se produisent que par le bris de quelques pièces ou la chute de vis ou goupilles.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TIRS DE RÉGLAGE

Toutes les opérations préliminaires précédentes étant terminées, on procède au tir de réglage. Ces tirs se font uniquement au tube-carcasse (§ 910), que l'on immerge à volonté et d'où la torpille sort sous l'impulsion seule de ses hélices.

§ 903. **Étude de la trajectoire.** — La trajectoire horizontale ou en direction est nettement accusée par la trace des bulles d'air qui viennent à la surface de l'eau.

Les écarts latéraux se mesurent à l'aide de deux radeaux de 12^m à 16^m de longueur placés à 200^m et 400^m du tube-carcasse. La ligne de visée doit être perpendiculaire à ces deux radeaux et passer par leur milieu.

Les déviations de droite sont affectées du signe +, celles de gauche du signe —; elles sont mesurées à l'aide de montants espacés de mètre en mètre sur les radeaux.

Les écarts en profondeur sont donnés par des filets amovibles pendus sous les radeaux. La façon dont les fils verticaux sont coupés par les ailerons horizontaux de la torpille indique la bande qu'elle peut avoir. Tous les fils verticaux de ces filets doivent donc être également tendus et de même longueur. Après chaque lancement, on les ramène à terre, et on vérifie les immersions avec une règle graduée.

Pour étudier les trajectoires verticales, on se sert d'un enregistreur d'immersion.

§ 904. **Enregistreur d'immersion, système Besson.** — Cet instrument a été inventé par M. Besson, officier de marine. Il enregistre les immersions de la torpille pendant toute la durée du parcours. Il est représenté figure 249.

Il se compose d'un piston hydrostatique P en bois de gaïac, qui se meut dans un cylindre. Ce piston convenablement équilibré par des ressorts *a*, *a* leur transmet la pression qu'il reçoit de l'eau.

Sur la tige T du piston se trouve fixé un bras B, portant un crayon *e*. Ce dernier vient appuyer sur une feuille de papier enroulée autour du cylindre S, tournant d'une manière uniforme grâce au mouvement d'horlogerie M.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

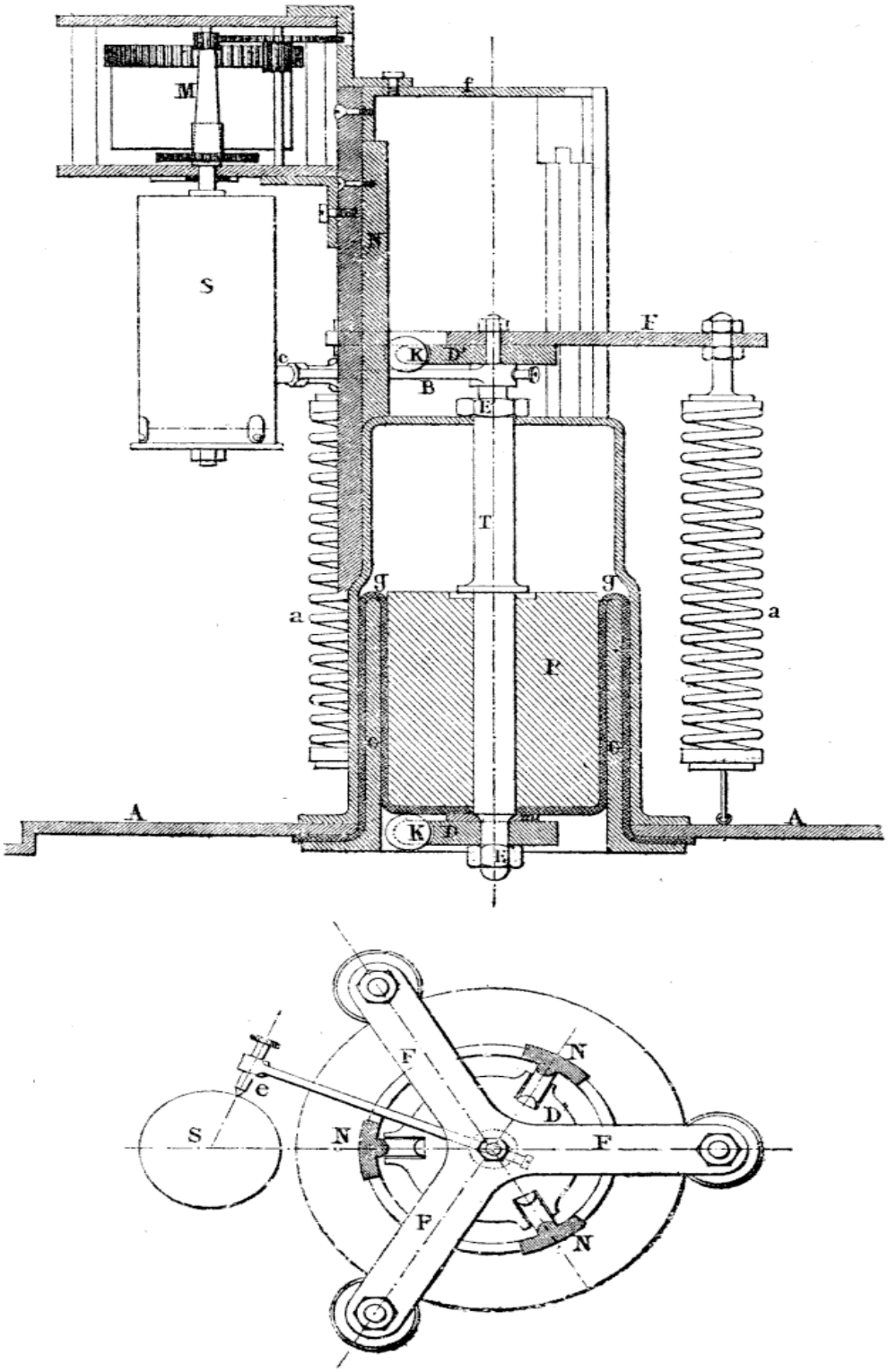


Fig. 249.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Pour assurer l'étanchéité du piston, une garniture en forme de poche g l'entoure, et lui permet de se mouvoir sans donner passage à l'eau.

Une pièce à trois branches F, fixée sur la tige du piston, porte à l'extrémité de chaque branche les attaches des bouts mobiles des trois ressorts, qui font équilibre à la pression exercée sur le piston.

Une autre pièce à trois branches D', porte trois galets K destinés à assurer le mouvement rectiligne du piston ; ils roulent sur la paroi intérieure du cylindre.

Suivant que l'immersion est plus ou moins grande, le piston P s'enfonce plus ou moins dans son cylindre ; et le crayon e recevant le même mouvement, décrit une courbe qui reproduit les diverses oscillations du piston P.

Échelle de profondeur. — Un doigt porté par une tringle, fixée sur la tige du piston, empêche le mouvement d'horlogerie de tourner tant que la torpille n'a pas atteint une immersion de 50 à 60 centimètres. Pour obtenir l'échelle des profondeurs, on procède de la manière suivante :

On fixe l'enregistreur dans la torpille au moyen d'une collerette qui permet de l'attacher au cône de charge.

Pour ne pas changer l'assiette de la torpille, on met du lest en plomb, qui, avec le poids de l'enregistreur, doit représenter la charge explosible.

On ajoute une gueuse de 25^{kg} à la torpille, et on l'amène horizontalement jusqu'à 1^{m} d'immersion, en se servant d'une règle graduée. On laisse à l'instrument le temps de faire un tour, puis on amène la torpille successivement à 2, 3, 4^{m}, en procédant de la même façon.

A chaque station, le crayon trace des lignes parallèles espacées de 5 à 6^{mm} à peu près qui constituent l'échelle de profondeur.

Le temps employé pour que l'instrument fasse une révolution complète, mesuré au chronomètre (30 secondes en moyenne), donne avec le développement du papier (120^{mm}) l'échelle des distances.

§ 905. **Interprétation d'une courbe.** — L'exemple suivant (fig. 250) montre comment l'examen d'une courbe permet

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

d'interpréter les différentes phases par lesquelles la torpille a passé pendant son parcours.

Modèle 1880, *de* 5m,75 (*Tube carcasse à* 2m).

Immersion	réglée		3m
	dans les filets	à 200m	3m
		à 400m	2m,40
Parcours			400m (6 dents)
Immobilisation du GH			+ 2mm
Balancement	Pte en haut		1°25′
	Pte en bas		1°10′
Temps employé pour parcourir	200m, 18s	Vitesse en nœuds	21,61
	400m, 35s	—	22,23

La partie aa' de la courbe a été tracée pendant la descente du tube, et $a'b$, durant le séjour qu'elle y a fait à 2m d'immersion.

En b, le changement de sens de la courbe indique que la torpille remonte à sa sortie du tube, sous l'action du GH immobilisé à + 2mm.

En c, la désimmobilisation se produit; le GH vient en dessous du cadre, et la trajectoire s'infléchit vers le bas.

En r, la torpille franchit l'immersion pour laquelle elle est réglée (3m), la dépasse en raison de son inclinaison et de sa vitesse, descend jusqu'en d (malgré l'action du GH qui est au-dessus du cadre depuis le point d'inflexion r'), remonte et dépasse même légèrement son immersion en u, puis se maintient à la profondeur constante de 3m de f en Y.

A partir de ce moment, le couple de flottabilité l'emportant de plus en plus sur celui d'évolution du GH, la trajectoire devient progressivement ascendante, malgré la position négative du GH, jusqu'en g, où le stoppage se produit.

Au point g, la diminution de vitesse reporte le pendule sur l'AV, l'air qui reste dans le tuyautage actionne le servo-moteur et fait prendre au GH son amplitude positive. La torpille remonte et bondit à la surface; mais, comme le GH conserve sa position sous l'influence du ressort de rappel du servo-moteur, elle fait encore quelques lacets $hijk$, en raison de sa force vive, avant de s'arrêter définitivement.

La portion de courbe $bcdfg$ représente la trajectoire effective: elle est en trait plein, tandis que les deux portions $aa'b$ et $ghijk$

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

tracées, la première dans le tube-carcasse, et la seconde après le stoppage, sont en pointillé.

Dans cet exemple, le cylindre effectuant une révolution en 30ˢ, et le développement du papier ayant 120ᵐᵐ, le chemin parcouru à la seconde par une génératrice est $\frac{120}{30} = 4^{mm}$.

Si la longueur de bg mesurée horizontalement est de 165ᵐᵐ, le parcours total a été effectué en $\frac{165}{4} = 42$ secondes environ. (Le point g est au delà du radeau de 400ᵐ.)

Si la torpille a mis 35ˢ pour franchir 400ᵐ, on aura

$$bg = \frac{400 \times 42}{35} = 471 \text{ mètres};$$

et chaque millimètre de bg représentera un parcours de

$$\frac{471}{165} = 2^{m},854.$$

La torpille ayant mis 18ˢ et 35ˢ pour passer sous les radeaux de 200 et 400ᵐ, leurs positions respectives R et R′ sur la ligne bg seront éloignées de b de :

$4 \times 18 = 72$ millimètres pour R
$4 \times 35 = 140$ — R′.

Le parcours ayant été réglé pour 6 dents, et le bouton de déclenchement étant placé sur l'avant, on ne fait en réalité que 5 dents 1/2 ; donc le chemin parcouru par dent de la roue à rochet est égal à

$$\frac{471}{5,5} = 85^{m},60,$$

nombre sensiblement égal au chiffre de 88ᵐᵐ donné pour ce modèle.

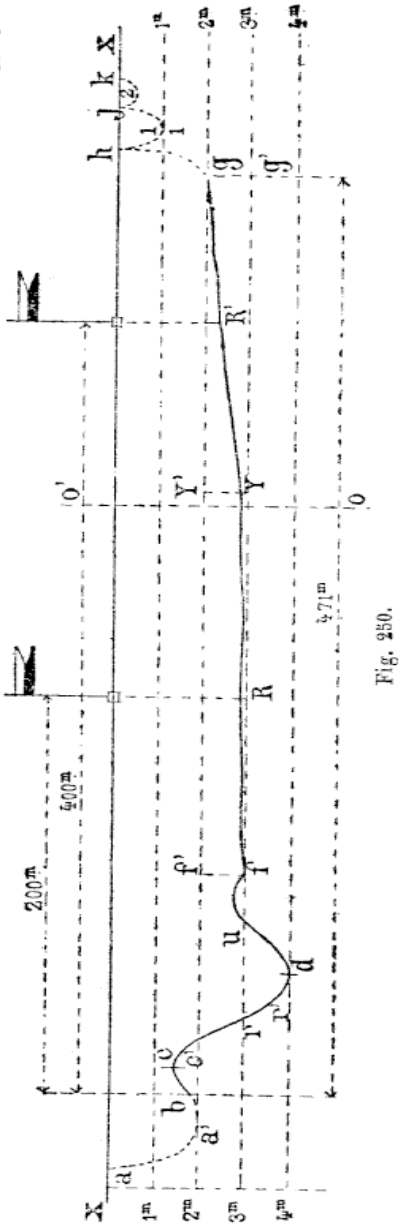


Fig. 250.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

En résumé, on voit que :

1° La désimmobilisation a lieu en c' ;

2° La torpille plonge à environ 4^m aussitôt qu'est produite la désimmobilisation du GH ;

3° L'immersion n'est constante qu'à une distance de 114^m du tube $[(bf' = 2{,}854) \times 40 = 114^m]$;

4° La trajectoire commence à devenir ascendante à 308^m $[(bY' = 2{,}854) \times 108 = 308^m]$; et la torpille navigue pendant 157^m à peu près au-dessus de son immersion, du point Y au point g', sans que les régulateurs puissent l'y ramener $[(Yg' = 2{,}854) \times 55 = 157^m]$.

§ 906. **Enregistreur d'immersion et de bande, système Whitehead**. — Cet enregistreur, dont nous nous bornons à donner le principe, se compose de trois parties principales :

1° Un piston hydrostatique déplaçant un index proportionnellement à l'immersion de la torpille ;

2° Un pendule, muni également d'un index, donnant les déplacements de la torpille autour de son axe longitudinal ; c'est-à-dire son roulis ou sa bande ;

3° Un appareil enregistreur, formé d'un cylindre porte-papier mû par une hélice située sur la pointe du cône ; cette hélice est mise en mouvement de la même façon que celle portée par les percuteurs du dernier modèle (§ 816), c'est-à-dire par la résistance que l'eau oppose au mouvement de la torpille.

Avec ce système les déplacements du cylindre porte-papier sont réellement proportionnels au chemin parcouru ; tandis qu'avec l'enregistreur Besson ces mêmes déplacements sont donnés en fonction du temps, le cylindre porte-papier y étant mû par un mouvement d'horlogerie. On dispose généralement les deux index de façon à les avoir toujours sur la même génératrice du cylindre porte-papier.

Toutefois l'installation de cet appareil oblige à spécialiser un cône de charge ; mais c'est là un léger inconvénient, car les cônes des nouvelles torpilles sont absolument interchangeables comme forme et comme poids ; il suffit d'en affecter un de chaque modèle au réglage de toutes les torpilles pour être toujours prêt à relever une trajectoire verticale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

§ 907. **Considérations générales sur les trajectoires.** — En principe, pour que la trajectoire d'une torpille soit régulière, il faut que la vitesse de la machine soit uniforme pendant tout le parcours; car toute diminution de vitesse provoque une diminution dans les actions des hélices, et la torpille donne de la bande d'un bord ou de l'autre; c'est ce qui explique les crochets qu'on remarque presque toujours à la fin des trajectoires un peu longues, principalement quand, par suite d'une cause accidentelle, le stoppage de la machine ne se produit pas.

On devra donc déterminer rigoureusement quel est l'enfoncement du régulateur de pression pour lequel la machine acquiert sa vitesse maximum et stoppe en conservant une pression très peu inférieure à la pression de régime.

Ajoutons que par mer houleuse la torpille ressent l'effet de l'agitation de l'eau.

§ 908. **Trajectoire verticale.** — Une courbe se maintenant tout entière au-dessus ou au-dessous de l'immersion demandée et à une distance à peu près constante indique une pression trop faible ou trop forte des ressorts antagonistes du piston hydrostatique.

Une courbe ascendante à partir d'un certain point de la trajectoire et s'éloignant de l'immersion donnée d'une façon continue indique un excès de flottabilité. Dans ce cas, il faut donner au GH une légère avance en bas, au moyen de la bielle verticale pour augmenter l'angle d'égalité d'actions pointe en bas et diminuer celui pointe en haut.

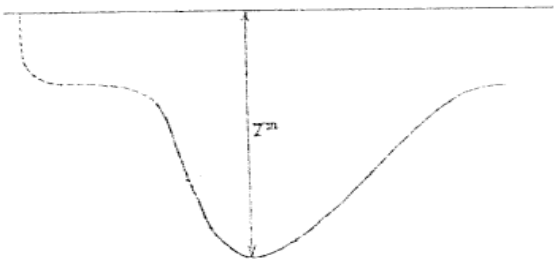


Fig. 251.

Une trajectoire verticale présentant des ondulations hautes et courtes provient de mouvements trop énergiques imprimés au GH par le piston hydrostatique seul, ou d'égalités d'actions trop grandes (si toutefois la trajectoire horizontale est droite). Pour y remédier, on peut diminuer soit la course du piston hydrostatique, soit la tension des ressorts du pendule.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Si dans les lancements au tube-carcasse on n'immobilise pas le GH dans une certaine position et pendant un temps convenable, l'inertie du pendule fait plonger la torpille à sa sortie du tube. La plongée est d'autant plus forte (fig. 251) que la torpille est plus lourde. Car plus son poids est grand, plus elle met de temps à atteindre sa vitesse normale ; et tant qu'elle ne l'a pas réalisée, l'inertie du pendule tend à la faire plonger.

§ 909. **Trajectoire horizontale.** — Quatre cas peuvent se présenter :

1° La trajectoire horizontale est droite ; dans ce cas la torpille est réglée si la trajectoire verticale est bonne.

2° Elle s'éloigne du plan de tir dès l'origine. Il faut alors s'assurer que le régulateur de pression est bandé pour la pression de régime, et que celle qui reste au réservoir d'air lui est très peu inférieure.

Quand la déviation persiste, il faut reporter le GV en sens inverse, jusqu'à ce que la trajectoire passe par le plan de tir.

3° La trajectoire demeure dans le plan de tir pendant une partie du parcours, et dévie brusquement.

Lorsque la trajectoire verticale ABC (fig. 252) est droite et placée à une immersion constante, si la trajectoire horizontale *abc* reste droite jusqu'en *b*, à 200 mètres du tube, par exemple, et qu'elle dévie sur bâbord à partir de ce point (le réservoir d'air ayant été chargé comme il doit l'être, et la pression restante étant plus faible que celle de régime), c'est que le régulateur de pression a été trop serré. Une fuite produit le même résultat. En effet, au point *b*, où la vitesse de la machine diminue, l'équilibre cesse d'exister entre les composantes des deux hélices ; celle d'Æ devient prépondérante, et la torpille donne de la bande sur tribord. Par conséquent, comme le GH a forcément une légère avance en bas pour maintenir la torpille à son immersion, la déviation se fait sur bâbord.

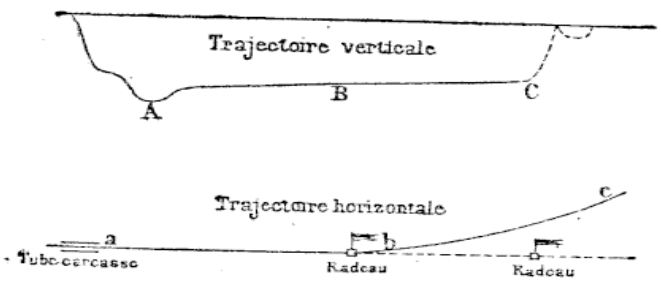


Fig. 252.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

4° La trajectoire horizontale est sinueuse. Dans ce cas, la trajectoire verticale l'est aussi. Il suffit, pour obtenir de bons résultats, de corriger la bande provenant de la différence d'actions des hélices.

La bande existe seule lorsque les ondulations sont également réparties de part et d'autre du plan de tir.

La bande existe avec un défaut de symétrie quand la trajectoire horizontale est sinueuse et s'écarte en même temps du plan de tir.

Le défaut de symétrie se corrige en reportant le GV du côté opposé à la déviation.

On peut poser les règles suivantes :

(I) Chaque changement de sens de la trajectoire horizontale correspond à un changement de sens du GH indiqué sur la trajectoire verticale.

(II) La bande et la déviation sont de *même bord* quand le GH est en *haut*, et de *sens opposé* quand il est en *bas*.

(III) Lorsqu'on *serre* le régulateur de pression, l'hélice AV pro-

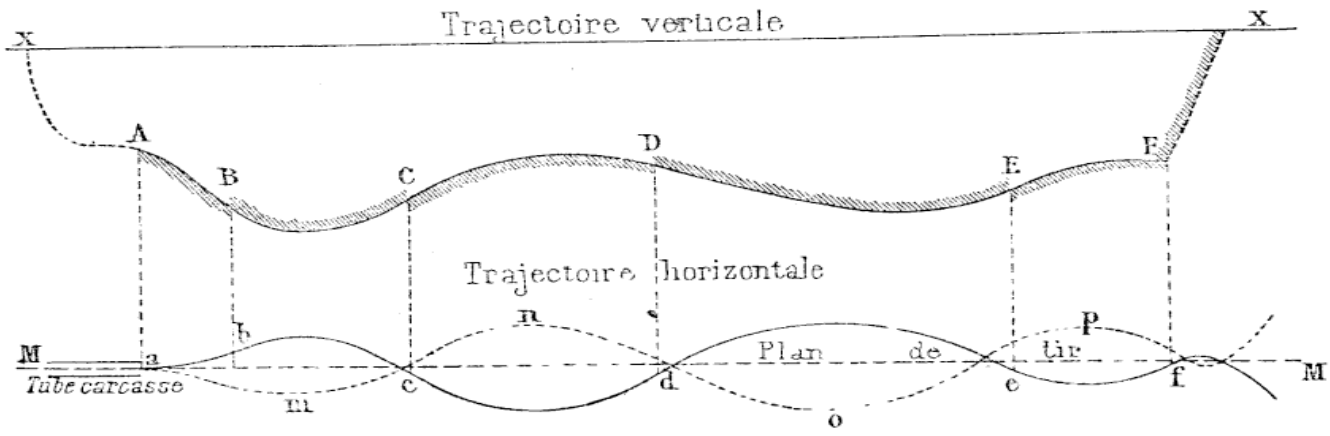


Fig. 253.

voque la bande sur *bâbord ;* si on le desserre, l'hélice AR la porte sur *tribord*.

Prenons l'exemple suivant (fig. 253). Nous supposons que les ondulations de la trajectoire horizontale sont également réparties de part et d'autre du plan de tir, et qu'elles ont été notées dans l'ordre suivant : gauche, droite, etc... Par les points d'inflexion de la trajectoire verticale A, B, C, D... abaissons des perpendiculaires sur la ligne horizontale MM qui représente le plan de tir.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

D'après la règle (I), les points d'inflexion de la trajectoire horizontale devant correspondre aux premiers, il suffit de tracer une courbe *abcdef* ondulant à gauche, à droite, etc... de la trajectoire verticale.

D'après la règle (II), on voit que :

Le GH étant en bas de A en B, et la déviation *ab* étant sur *bâbord*, la bande est à *tribord;*

Le GH étant en haut de B en C, et la déviation *bc sur tribord*, la bande est sur *tribord*, et ainsi de suite.

On en conclut que la bande est sur *tribord;* et, d'après la règle (III), elle est due à l'*hélice* Æ.

Pour la faire disparaître, il faut soit serrer le régulateur de pression, soit diminuer le pas de l'hélice Æ ou son diamètre.

Si la bande était sur bâbord, on ferait les corrections en sens inverse; on desserrerait le régulateur ou l'on augmenterait le pas de l'hélice Æ.

Si les ondulations horizontales avaient été observées en sens inverse, c'est-à-dire droite, gauche, etc..., la courbe eût été symétrique par rapport à MM. Le même raisonnement tendrait à prouver que la bande était sur *bâbord*.

On voit par là l'importance qu'il y a à noter l'ordre dans lequel se succèdent les ondulations. Sinon l'on s'expose à qualifier de *bande sur bâbord* ce qui est en réalité sur *tribord*, et les corrections apportées ne feraient qu'augmenter le mal. Un observateur placé au tube de lancement et appréciant la direction de la torpille simplement à la trace laissée par les bulles d'air à la surface de l'eau, ne peut définir exactement sa déviation latérale. Il est nécessaire de connaître aussi la trajectoire verticale.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

DU TOME PREMIER

PREMIÈRE PARTIE

BALISTIQUE

Paragraphes		Pages
	BALISTIQUE INTÉRIEURE	1
1.	Mesure de la force	2
2.	Crusher	2
3.	Balance manométrique	3
4.	Balance manométrique à pistons multiples	3
5.	Appareils pour mesurer indirectement la pression (*accéléromètre*)	4
6.	Accélérographe et chronographes	5
7.	Projectile enregistreur du colonel Sebert	7
8.	Mesure directe de la pression des gaz sur le culot	8
9.	Recul	9
10.	Vélocimètre	9
	BALISTIQUE EXTÉRIEURE	10
11.	Définition	10
12.	Chronographe Le Boulengé	10
13.	Utilité d'allonger les projectiles	12
14.	Nécessité de la rotation du boulet	12
15.	Précession	13
16.	Dérivation	14
17.	Nutation	14
	ÉTABLISSEMENT DES TABLES DE TIR	15
18.	Objets des tables de tir	15
19.	Méthode de la Commission de Gâvre	15
20.	Définitions	15
21.	Notations adoptées	17
22.	Angle de relèvement	17
23.	Angle additionnel	18
24.	Vitesse initiale	18
25.	Trajectoire	19
26.	Portée	19
27.	Flèche de trajectoire	19
28.	Angle de chute	20
29.	Durée du trajet	20
30.	Mesure des portées et des dérivations	20
31.	Écarts en hauteur	21

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes Pages

POINTAGE ET TIR A LA MER 21
32. Appareils de pointage 21
33. Calcul des hausses et des dérives 23
34. Hausse-instrument. 23
35. Guidon de mire 24
36. Causes d'irrégularité du tir 24
37. Corrections relatives au vent 25
38. Mobilité du but 27
39. Influence de l'inclinaison de l'axe des tourillons. 27
40. Exécution des feux. 28

DEUXIEME PARTIE

AGENTS EXPLOSIFS

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES EXPLOSIFS. 31
41. Classification des explosifs. 31

2e PIE, CHAPITRE I. — POUDRE

DIFFÉRENTES ESPÈCES DE POUDRES 34
42. Classification des poudres. 34
43. Poudres appropriées aux calibres. Recherches 35
44. Densité de chargement. 36
45. Dimensions des chambres. 37
46. Progression constante des vitesses initiales. 37
47. Longueur d'âme 37
48. Diverses espèces de poudres 37
49. Désignation des poudres. 38
50. Poudres étrangères 38

FABRICATION DE LA POUDRE 39
51. Matières premières. 39
52. Pulvérisation. 41
53. Trituration. 42
54. Galetage 42
55. Grenage 42
56. Lissage. 43
57. Séchage. Époussetage. 43
58. Épreuves des poudres. 43

2e PIE, CHAPITRE II. — EXPLOSIFS DIVERS AUTRES QUE LA POUDRE

COMPOSITION CHIMIQUE DE CES EXPLOSIFS 45
59. Généralités. 45
60. Coton-poudre 45
61. Nitroglycérine. 46
62. Acide picrique. Picrates. Mélinite 47

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes Pages

63. Nitrobenzine. 48
64. Bellite. 48
65. Hellhoffite 48
66. Fulminate de mercure. 48

PROPRIÉTÉS DES EXPLOSIFS. 49

67. Décomposition spontanée 49
68. Action de la température 50
69. Actions mécaniques. Chocs 51
70. Inflammation. Combustion. Explosion de premier, de second ordre 52
71. Détonation. Vibrations synchrones. 54
72. Force explosive 55
73. Acide picrique. 57

FABRICATION INDUSTRIELLE DES EXPLOSIFS 58

74. Coton-poudre 58
75. Nitroglycérine. Dynamites. 59
76. Dynamite à base inerte. 60
77. Dynamites à base active. *Lithofracteur. Poudre blanche. Sébastine. Dualine. Gélatine explosive. Bellite. Hellhoffite* 61
78. Poudres aux picrates. 63

EMPLOI DES EXPLOSIFS AU SERVICE DE GUERRE. 63

79. Conditions à remplir. 63
80. Emploi des explosifs. (1° *Service à terre.* 2° *Service à la mer*) 64
81. Chargement des projectiles 65
82. Essais exécutés en France. 67
83. Essais exécutés par les puissances étrangères. Comparaison avec la mélinite 68
84. Applications industrielles des explosifs. 73

TROISIÈME PARTIE

CANONS

3e Pie, CHAPITRE I. — CONSTRUCTION DES CANONS

85. Résistance d'un canon. 75
86. Frettage. 78
87. Tubage. 78
88. Tracé de la chambre 78

MÉTAUX EMPLOYÉS. 80

89. Conditions à remplir. 80
90. Bronze. 80
91. Bronze mandriné ou bronze-acier. 81
92. Bronze phosphoreux. 81
93. Bronze de manganèse. 81
94. Métal Sterro 82
95. Fonte. 82

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes		Pages
96.	Fer forgé.	82
97.	Acier.	83
98.	Acier puddlé	83
99.	Acier de cémentation	83
100.	Acier fondu.	84
101.	Acier à canon.	84
102.	Acier coulé sans soufflures	85
103.	Fonte et fer forgé (1° *système Parott;* 2° *système Palliser*)	86
104.	Système Whitworth.	86
105.	Système Vavasseur.	87
106.	Système Krupp	88
107.	Fer forgé et acier. Système Armstrong.	88
108.	Système Armstrong modifié par Fraser	89
109.	Système Schulz.	89
110.	Canon des forges et chantiers de la Méditerranée (système Canet).	90
111.	Comparaison de la fonte et de l'acier.	91
	DIFFÉRENTS MODÈLES D'ARTILLERIE EN SERVICE.	92
112.	Classification.	92
113.	Artillerie M^le 1870.	93
114.	Artillerie M^le 1870 M.	93
115.	Artillerie M^le 1875.	93
116.	Artillerie M^le 1875 M.	93
117.	Artillerie M^le 1870-1879.	93
118.	Artillerie M^le 1875-1879.	93
119.	Artillerie M^le 1881.	94
120.	Canon de 42^cm M^le 1875.	95
121.	Artillerie M^le 1870-1881	95
122.	Artillerie M^le 1864 T 1870.	95
123.	Prix de revient des pièces.	96
	FABRICATION DES CANONS.	97
124.	Canons en fonte.	97
125.	Tubage des canons en fonte.	97
126.	Tube en deux parties.	98
127.	Canons en acier. *Corps. Tubes.*	98
128.	Essais.	99
129.	Essais à la poudre.	100
130.	Frettes.	100
131.	Tubage des canons en acier.	101
132.	Tubage du corps des canons en deux blocs.	101
133.	Frettage	102
134.	Rayage.	102
135.	Des rayures.	104
136.	Rayure hélicoïdale.	104
137.	Rayure parabolique	104
138.	Rayures cunéiformes.	105
139.	Nombre des rayures.	105
140.	Rayures des mortiers	106

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3e Pie, Chapitre II. — Modes de chargement des canons

Paragraphes		Pages
	Fermeture de culasse	107
141.	Classification	107
142.	Fermeture par vis-culasse	108
143.	Obturateur	108
144.	Obturation automatique par expansion	108
145.	Console	109
146.	Système à cadran	109
147.	Système à coulisse	109
148.	Système à charnière	110
149.	Taquet d'arrêt	110
150.	Volet	110
151.	Obturateur de Bange	111
152.	Fermeture à coin cylindro-prismatique. Système Krupp. Artillerie allemande	111
	Appareils de sûreté	112
153.	1° Linguet	112
154.	2° Verrou	112
155.	Verrou à traction indirecte et à loquet de sûreté	113
156.	Loquet de sûreté	115
	Fermeture pour canons de côte et de bord, système Canet, Mle 1883	115
157.	Dispositions générales	115
158.	Obturation	116
159.	Verrou	116
	De la mise de feu	117
160.	Canal de lumière	117
161.	Grains de lumière	118
162.	Grain de lumière dans les canons de 100 tonnes italiens	118
163.	Artifices de mise de feu	119
164.	Étoupilles à friction	119
165.	Étoupilles à percussion	119
166.	Étoupilles obturatrices à percussion centrale	120
167.	Étoupilles électriques	120
168.	Étoupille obturatrice électrique pour canons à lumière centrale	121
	Mise de feu électrique a bord	121
169.	Conditions à remplir	121
170.	Pile d'inflammation	122
171.	Câbles, conducteurs	122
172.	Câbles à deux ou trois conducteurs; leurs raccords terminaux	122
173.	Conjoncteurs de mise de feu	122
174.	Verrou de mise de feu électrique	123
175.	Tables de manipulation du commandant	124
176.	Sonnerie équilibrée	124
177.	Marche du courant à bord	124
178.	Exécution du feu. *Feu par le commandant. Feu par le chef de pièce*	125
	Différents modèles de hausses	125
179.	Systèmes en usage dans la Marine	125

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

3e Pie, Chapitre III. — Projectiles

ragraphes		Pages
	Guidage des projectiles	127
180.	Conditions que doivent remplir les projectiles	127
181.	Montage des projectiles	128
182.	Forme de la ceinture	129
183.	Position de la ceinture	129
184.	Ceinture à expansion	130
185.	Chemise en plomb ou en laiton (artillerie allemande)	130
186.	Gaz-check	130
	Corps du projectile	131
187.	Classification des projectiles	131
188.	Boulets en fonte dure	131
189.	Obus de rupture	131
190.	Obus de rupture en fonte dure pour mortiers de côte	134
191.	Obus ordinaires	134
192.	Obus à doubles parois	134
193.	Obus à balles	134
194.	Boîtes à mitraille	135
195.	Rapport entre le poids du canon et celui du projectile de rupture	135
	Fusées	135
196.	Classification	135
197.	Fusée percutante, modèle 1870, sensibilisée	136
198.	Fusée Budin pour obus de 90mm	137
199.	Fusée Desmarets pour obus de canon-revolver de 37mm	137
200.	Fusée à double effet	138
	Effets des divers projectiles	139
201.	Destination des divers projectiles	139
202.	Pénétration dans la cuirasse	140
203.	Murailles en bois	141
204.	Murailles en bois cuirassées	142
205.	Plaques en acier	142
206.	Tir oblique	143
207.	Variations des deux facteurs de la force vive	143
208.	Plaques de cuirasse	144
209.	Plaques Compound	144
210.	Plaques Schneider	144
211.	Épreuves de recette des plaques de blindage	145
212.	Cuirassement des ponts	146
213.	Pénétrations dans différents milieux	147
214.	Blindage en fonte dure	149
215.	Tir contre les cofferdams	150
216.	Expériences diverses	150
217.	Rendement des canons	152
	Conservation des munitions	154
218.	Gargousses	154
219.	Conservation des poudres	154

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes Pages

220. Soutes à poudre 155
221. Soutes à projectiles 155
222. Approvisionnement et munitions 156

3e Pie, Chapitre IV. — Canon-revolver. canon a tir rapide. mitrailleuse

Canon-revolver de 37mm, système Hotchkiss. 157

223. Indications d'ensemble. 157
224. Faisceau de canons 157
225. Boîte de culasse. 158
226. Percuteur 158
227. Roue hélicoïdale 159
228. Extracteur 159
229. Piston chargeur. 159
230. Fonctionnement 160
231. Renseignements divers. 161
232. Projectiles, poudre, fusées pour canon-revolver 161
233. Vitesses initiales. 162
234. Résumé des essais. Conclusions 162

Canon-revolver de 47mm, système Hotchkiss 163

235. Mécanisme. 163
236. Affût 165

Canon a tir rapide de 47mm, système Hotchkiss. 165

237. Programme à remplir. 165
238. Canon. 166
239. Mécanisme de culasse. Coin. 166
240. Marteau 167
241. Extracteur. 167
242 Crosse 168
243. Fonctionnement du mécanisme. 168
244. Affût 168

Mitrailleuse Nordenfeldt 169

245. Canons, cadre 169
246. Platine 169
247. Plaque de détente 169
248. Transporteur. 170
249. Fonctionnement 170
250. Appareil de sûreté. 171
251. Affût. 171
252. Dimensions des canons. 172
253. Munitions. 173
254. Rapidité du tir. 173
255. Vitesses initiales. 174
256. Portées, dérivations, écarts moyens. 174
257. Tirs de perforation. 175

Canon Nordenfeldt a tir rapide de 47mm 177

258. Canon. 177

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes Pages
259. Mécanisme de culasse . . . 178
260. Levier et came directrice. . . . 178
261. Bloc et coin. . . . 179
262. Percuteur. . . . 179
263. Détente. . . . 179
264. Extracteur. . . . 180
265. Fonctionnement. . . . 180
266. Appareil de pointage 181
267. Affût 181
268. Poids du système 182
269. Munitions. Projectiles 182
270. Douille 183
271. Amorce. . . . 184

3e Pie, Chapitre V. — Des affûts

272. Définitions 185

Appareils de pointage en hauteur 186
273. Sole mobile à vis double 186
274. Vis double à écrou fixe. . . . 186
275. Vis simple à écrou tournant 187
276. Chaîne Galle 187
277. Arc denté. . . . 187
278. Pointage hydraulique. . . . 188

Appareils de pointage en direction. . . . 188
279. Pivot, cheville-ouvrière. . . . 188
280. Exemple. Affût de batterie pour canon de 27cm 189

Engins pour la mise en batterie et au recul 190
281. Galets. Palans 190
282. Chaînes et treuils 190
283. Rails inclinés sur les côtés du châssis. . . . 191

Appareils servant a limiter et a modérer le recul. . . . 191
284. Bragues 191
285. Freins. . . . 192
286. Freins Armstrong à lames 192
287. Freins hydrauliques. 1° Tampon hydraulique 193
288. 2° Frein hydraulique Armstrong. . . . 194

Description de quelques modèles d'affûts particuliers. . . . 195
289. Affût anglais à éclipse du « *Téméraire* » 195
290. Affût anglais pour canon à sabord réduit 195
291. Affût automatique italien Albini 196
292. Affût Vavasseur 197
293. Affût pour canon de 16cm (système Canet) 198

3e Pie, Chapitre VI. — Petite artillerie

Artillerie des embarcations 199
294. Canon. . . . 199
295. Affût 199

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes Pages

ARTILLERIE DE PLAT-BORD 200
296. Affût 200
297. Appareils de pointage 201

CANON DE DÉBARQUEMENT DE 75cm (SYSTÈME CANET) MONTÉ SUR AFFÛT MARIN. 202
298. Affût 202

3e Pie, CHAPITRE VII. — TOURELLES ET TOURS

299. Considérations générales. 203
300. Tourelle barbette pour canon de 24cm (type Océan) 203
301. Tour tournante de garde-côtes (type Bélier). 204
302. Tour tournante, système Coles. 204
303. Tour tournante, système Ericeson, type des monitors. 204

3e Pie, CHAPITRE VIII. — COUP D'ŒIL GÉNÉRAL SUR L'ÉTAT DE L'ARTILLERIE CHEZ LES DIVERSES NATIONS MARITIMES

France.

ARMEMENT DES NAVIRES DE COMBAT 205
304. Canon de 10cm. 205
305. Canon de 14cm. 206
306. Canon de 16cm. 206
307. Canon de 19cm. 207
308. Canon de 24cm. 208
309. Canon de 27cm. 209
310. Canon de 34cm. 210
311. Canon de 37cm. 210
312. Canon de 42cm. 210
313. Durée des canons Mles 1870 et 1875. 211

ARTILLERIE LÉGÈRE D'EMBARCATION ET DE DÉBARQUEMENT 211
314. Canon de 90mm. 211
315. Canon de 65mm. 211
316. Canon-revolver de 37mm. 212
317. Canon-revolver de 47mm. 212

ARTILLERIE DE CÔTE. 212
318. Canons modèle 1864 T 1870 (calibres de 19, 24, 27cm) 212
319. Canon de 32cm. 213
320. Mortiers (en essais) 213

ARTILLERIE DU DÉPARTEMENT DE LA GUERRE. 213
321. Récapitulation des divers canons employés 213

Artilleries navales étrangères.

322. Allemagne 214
323. Angleterre 215
324. Autriche 217

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes Pages
325. Italie . . . 218
326. Espagne . . . 219
327. Portugal . . . 219
328. Danemark . . . 220
329. Hollande . . . 220
330. Russie . . . 220
331. Suède . . . 221
332. Norwège . . . 221
333. Grèce . . . 221
334. Turquie . . . 222
335. États-Unis . . . 222
336. Brésil . . . 222
337. Chili . . . 223
338. Chine . . . 223
339. Japon . . . 223

QUATRIÈME PARTIE

HYDRAULIQUES DE MANŒUVRE POUR LES GROS CANONS

4e Pie, Chapitre I. — Principes communs et production de la pression

340. Considérations générales . . . 225
341. Programme . . . 228
Machine de pompage . . . 229
342. Moteur . . . 229
343. Pompe . . . 230
344. Accumulateur-multiplicateur . . . 231
345. Fonctionnement . . . 232

4e Pie, Chapitre II. — Dispositions pour tourelle barbette et réduit central

Hydrauliques du « Tonnant » et de « l'Amiral Duperré ». — Plate-forme tournante avec chargement au rebord. — Canon de 34cm. — Tourelle Barbette. — Type Farcot . . . 233
346. Dispositions générales . . . 233
347. Distribution de l'eau . . . 234
348. Joint articulé . . . 235
349. Pointage en direction . . . 235
350. Mise en batterie et au recul . . . 237
351. Pointage en hauteur . . . 238
352. Reniflard . . . 238
353. Monte-charge . . . 239
354. Refouloir . . . 240
355. Appareils de sécurité de chargement . . . 241
356. Immobilisation de la plate-forme et du bras de pointage . . . 242
357. Fonctionnement . . . 243

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes Pages

HYDRAULIQUES DES CUIRASSÉS LE « COURBET » ET LA « DÉVASTATION ». — TYPE FARCOT. — CANONS DE 34cm EN RÉDUIT CENTRAL 248

358. Châssis et affût 248
359. Pointage en hauteur. 248
360. Pointage en direction. 248
361. Mise en batterie et au recul. 249
362. Monte-charge. 250
363. Manipulations dans la soute. 250
364. Refouloir télescopique. 250
365. Poste de chargement. Boîte quintuple. 251
366. Appareils de sécurité de chargement. 252
367. Écouvillon hydraulique. 255
368. Fonctionnement 255

HYDRAULIQUES DU DERNIER TYPE FARCOT POUR TOURELLE BARBETTE. — PLATE-FORME TOURNANTE A CHARGEMENT CENTRAL. — CANON DE 34cm. 256

369. Dispositions générales. 256
370. Pointage latéral 257
371. Pointage en hauteur. 258
372. Refouloir. 258
373. Monte-charge 258

4e PIE, CHAPITRE III. — DISPOSITIONS POUR TOURS TOURNANTES

HYDRAULIQUES DE LA CANONNIÈRE L' « ACHÉRON » ET DU CUIRASSÉ ESPAGNOL LE « PÉLAYO ». — TOUR TOURNANTE. — CANON DE 27cm OU DE 34cm. — TYPE DES FORGES ET CHANTIERS DE LA MÉDITERRANÉE DÛ A M. CANET. 260

374. Dispositions générales. 260
375. Pointage en direction 260
376. Pointage en hauteur. 261
377. Mise en batterie et au recul. 262
378. Monte-charge. 263
379. Tuyautage et circulation d'eau. 264

HYDRAULIQUES DU « VENGEUR », GARDE-CÔTES CUIRASSÉ. — TOUR TOURNANTE A DEUX PIÈCES DE 34cm. — TYPE ANGLAIS. 265

380. Disposition générale. 265
381. Pointage en direction. 265
382. Mise en batterie et au recul. 266
383. Pointage en hauteur. 266
384. Verrous de sécurité de la tour. 266
385. Palan hydraulique pour monter les projectiles. 266
386. Couronne d'eau. 268

HYDRAULIQUES DU « TONNERRE ». — TOUR TOURNANTE A DEUX PIÈCES DE 27cm. — TYPE ANGLAIS. 269

387. Machine de pompage. 269
388. Pointage en direction. 269
389. Couronne d'eau. 271
390. Pointage en hauteur. 272
391. Mise en batterie et au recul. 273

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes Pages
392. Tuyautage 274
393. Joint à rotule 275
394. Coussins 275

4e Pie, Chapitre IV. — Hydrauliques de manœuvre de la culasse mobile des canons de 42cm

395. Programme 276
396. Mécanisme 276
397. Fonctionnement 277
398. Fermeture 278

CINQUIÈME PARTIE

FUSILS

3e Pie, Chapitre I. — Considérations générales

399. Recul 279
400. Balles 280
401. Forme de la balle 281
402. Métal à employer 282
403. Fabrication des balles 282
404. Chemises 283
405. Canon du fusil 283
406. Rayures 283
407. Tracé en forme de croix 284
408. Tracé à côtes 285
409. Tracé Martini-Henry 285
410. Tracé à dents de scie 286
411. Tracé elliptique de Lancaster 286
412. Tracé polygonal ou de Withworth 286
413. Comparaison des divers systèmes de rayures 286
414. Sens des rayures 287
415. Lubrificateur 288
416. Calepin 288
417. Graissage 288
418. Modes de fermeture de culasse 288

5e Pie, Chapitre II. — Tir

419. Tension de la trajectoire 290
420. Détermination pratique de la forme de la trajectoire 290
421. Angle de relèvement 291
422. Détermination des éléments de la trajectoire 291
423. Zone dangereuse 292
424. Appareil de pointage 293
425. Hausse 293
426. Calcul de la hausse totale 295

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes Pages

427. Détermination pratique des hausses. 295
428. Dérive. 297
429. Réglage des armes. 297
430. Guidon 298
431. Appréciation d'une arme au point de vue du tir. 299
432. Déviations constitutionnelles. 299
433. Déviations accidentelles. 300

5e Pie, Chapitre III. — Description des fusils et des revolvers

Fusil Kropatschek, modèle 1878, marine. 303
434. Indications d'ensemble 303
435. Canon. 303
436. Boîte de culasse. 303
437. Cylindre 303
438. Tête mobile 304
439. Extracteur. 304
440. Fermeture. 305
441. Ouverture 305
442. Percuteur. Chien 306
443. Gâchette 307
444. Mécanisme à répétition. Magasin 307
445. Auget. 308
446. Éjecteur 309
447. Fonctionnement 309
448. Tir coup par coup 311
449. Appareil de hausse. 311
450. Monture. — Garnitures. 312
451. Fusil Mle 1884. 313
452. Cartouches Mle 1879. 313
453. Renseignements généraux sur le fusil Mle 1878 Marine et sur le fusil Mle 1884 315

Fusils adoptés à l'étranger.

Fusil Mauser (Allemagne). 316
454. Indications d'ensemble 316
455. Canon. 316
456. Boîte de culasse. 316
457. Mécanisme de fermeture, cylindre, tête mobile. 317
458. Mécanisme de percussion. Percuteur. Chien 318
459. Système de sûreté. 318
460. Détente 319
461. Fonctionnement 319
462. Fonctionnement du système de sûreté. 320
463. Cartouche à balle Mle 71 320
464. Appareil de pointage. 321
465. Renseignements généraux. 322
466. Appréciation du fusil Mauser. 322

Fusil Remington. 323
467. Indications d'ensemble 323

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes — Pages

468. Canon . . . 323
469. Boîte de culasse . . . 324
470. Mécanisme de fermeture . . . 324
471. Mécanisme de percussion . . . 325
472. Extracteur . . . 325
473. Système de sûreté . . . 325
474. Appareil de pointage . . . 325
475. Fonctionnement . . . 325
476. Monture. — Garnitures . . . 326
477. Renseignements généraux . . . 327
478. Appréciation de l'arme . . . 327

Fusil Martini-Henry (Angleterre) . . . 327

479. Indications d'ensemble . . . 327
480. Canon . . . 328
481. Boîte de culasse . . . 328
482. Mécanisme de fermeture . . . 328
483. Mécanisme de percussion . . . 329
484. Système de détente . . . 329
485. Extracteur . . . 330
486. Fonctionnement . . . 330
487. Système de sûreté . . . 330
488. Monture et garnitures . . . 331
489. Cartouche . . . 331
490. Renseignements généraux . . . 331
491. Appréciation de l'arme . . . 332

Fusil Berdan (Russie) . . . 332

492. Indications d'ensemble . . . 332
493. Canon . . . 333
494. Boîte de culasse . . . 333
495. Mécanisme de fermeture . . . 333
496. Mécanisme de percussion . . . 334
497. Système de détente . . . 334
498. Système de sûreté . . . 334
499. Extracteur . . . 335
500. Éjecteur . . . 335
501. Fonctionnement . . . 335
502. Fonctionnement de l'appareil de sûreté . . . 336
503. Renseignements généraux . . . 337
504. Appréciation de l'arme . . . 337

Fusil Wetterli a répétition (Suisse) . . . 338

505. Indications d'ensemble . . . 338
506. Canon . . . 338
507. Boîte de culasse . . . 338
508. Mécanisme de fermeture, cylindre . . . 338
509. Virole à ailettes . . . 339
510. Mécanisme de percussion . . . 339
511. Système de détente . . . 339
512. Système d'extraction . . . 340

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes — Pages

513. Fonctionnement . . . 340
514. Renseignements généraux . . . 342

FUSIL WETTERLI (ITALIE) . . . 342

515. Description. . . . 342
516. Renseignements généraux . . . 343

FUSIL WERNDL (AUTRICHE). . . . 344

517. Indications d'ensemble . . . 344
518. Canon . . . 344
519. Boîte de culasse. . . . 344
520. Fermeture . . . 344
521. Mécanisme de percussion . . . 345
522. Extracteur . . . 345
523. Fonctionnement . . . 345
524. Cartouche. . . . 346
525. Renseignements généraux. . . . 346
526. Appréciation de l'arme. . . . 347

PISTOLET-REVOLVER (Mle 1873 M) . . . 347

527. Indications d'ensemble. . . . 347
528. Canon . . . 347
529. Carcasse . . . 347
530. Barillet. . . . 348
531. Platine. . . . 348
532. Fonctionnement : 1° Tir intermittent ; 2° Tir continu . . . 348 et 349
533. Observations relatives au tir du revolver . . . 350
534. Cartouche. . . . 351

CONSIDÉRATIONS SUR LES PROGRÈS ET L'USAGE DES ARMES PORTATIVES . . 351

535. La répétition. Fusil Lebel et fusil Mänlicher. . . . 351
536. Renseignements sur le tir de l'infanterie. . . . 357

SIXIÈME PARTIE

ÉLECTRICITÉ EN MARINE

6e Pie, CHAPITRE I. — LOIS GÉNÉRALES ET UNITÉS

537. Introduction . . . 363
538. Définitions . . . 364
539. Loi de Ohm . . . 364
540. Lois de Kirchhoff . . . 365
541. Circuits dérivés . . . 366
542. Conductibilité. Résistance spécifique . . . 368
543. Loi de Joule . . . 369
544. Charge électrique. Capacité . . . 370
545. Magnétisme. . . . 371
546. Champ magnétique. Lignes de force . . . 371
547. Électro-magnétisme. Action des courants sur les aimants . . . 372

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes Pages
548. Système astatique . . . 373
549. Électrodynamique . . . 373
550. Action de la terre sur les courants . . . 374
551. Solénoïdes . . . 374
552. Aimantation par les courants . . . 375
553. Électro-aimants . . . 376
554. Courants d'induction . . . 377
555. Extra-courant. Courants induits d'ordre supérieur . . . 379
556. Unités absolues. Système C G S . . . 380
557. Unités électriques pratiques . . . 381
558. Multiples et sous-multiples . . . 382
559. Volt ampère ou watt ; volt-coulomb . . . 382
560. Unités pratiques de mécanique, de chaleur et de lumière. Énergie : sa conservation . . . 383
561. Usage des unités électriques pratiques . . . 385

6e Pie, Chapitre II. — Appareils de mesure

Galvanomètres . . . 387
562. Indications d'ensemble . . . 387
563. Galvanomètre d'essai . . . 387
564. Galvanomètre à fil de cocon . . . 388
565. Galvanomètre à miroir de Thomson . . . 389
566 Galvanomètre Deprez et d'Arsonval . . . 391

Mesure des intensités . . . 392
567. Ampère-mètres. Théorie . . . 392
568. Ampère-mètre de MM. Deprez et Carpentier . . . 392
569. Ampère-mètre de Deprez à arête de poisson . . . 393
570. Ampère-mètre de Thomson . . . 394

Mesure des différences du potentiel . . . 395
571. Volt-mètres . . . 395
572. Volt-mètre de MM. Deprez et Carpentier . . . 395
573. Volt-mètre Thomson . . . 396
574. Volt-mètre de Deprez à arête de poisson . . . 396
575. Observations sur les ampère-mètres et les volt-mètres . . . 396
576. Shunts . . . 397

Appareils divers . . . 398
577. Caisses de résistances . . . 398
578. Condensateur . . . 399
579. Clef de décharge . . . 400

6e Pie, Chapitre III. — Mesurages électriques et essais

Mesure de la résistance d'un conducteur . . . 402
580. Pont de Wheatstone . . . 402
581. Forme pratique du pont . . . 403
582. Pont de Wheatstone établi sans appareil spécial . . . 404
583. Pont de Wheatstone à fil de platine . . . 405

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes Pages

MESURE DE LA RÉSISTANCE INTÉRIEURE D'UNE PILE. 406

584. Théorie. 406
585. Choix du galvanomètre. 406
586. Méthode de la dérivation ou de Thomson 407
587. Méthode de Munro. 409

RÉSISTANCE D'UN GALVANOMÈTRE. 410

588. Méthode de l'égale déviation. 410
589. Mesure des constantes des galvanomètres 411

MESURE D'UNE DIFFÉRENCE DE POTENTIEL. 412

590. Méthode du condensateur. 412
591. Méthode des galvanomètres étalonnés. 414

MESURE DES FORCES ÉLECTROMOTRICES DES PILES. 414

592. Méthode de Ohm. 414
593. Méthode de Fechner 416
594. Remarques. 417
595. Méthode de la grande résistance. 417
596. Clef d'inversion 418

MESURE DES FORCES ÉLECTROMOTRICES DES DYNAMOS 418

597. Dynamos. 418

MESURE DES QUANTITÉS D'ÉLECTRICITÉ. 419

598. Électrolyse. Lois de Faraday. Équivalents électro-chimiques 419
599. Tableau des équivalents chimiques et électro-chimiques. 421

6e Pie, CHAPITRE IV. — APPLICATIONS PRATIQUES DES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE MESURE. PROBLÈMES DIVERS

ÉTUDE DES CONDUCTEURS. 422

600. Indications d'ensemble 422
601. Conductibilité de l'âme. 422
602. Mesure de la résistance de l'isolant d'un câble 423
603. Résistance par kilomètre. 424
604. Correction de température. 424

ISOLEMENT DES CONDUCTEURS 425

605. Tableau des résistances de la gutta-percha à diverses températures. 425
606. Mesure de l'isolement d'une ligne télégraphique aérienne 425
607. Essai des isolateurs 426
608. Recherche des défauts d'isolement dans les lignes. Méthode de Murray . . . 426
609. Mesure de la résistance d'un fil entre deux stations. 427
610. Détermination du point d'une ligne où se trouve une perte de courant . . . 428

MÉTAUX DES CONDUCTEURS 430

611. Table des conductibilités relatives et absolues des différents métaux 430
612. Remarques 430
613. Comparaison du cuivre pur avec les bronzes silicieux. 431

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

6e Pie, Chapitre V. — Piles et accumulateurs

Paragraphes		Pages
	Notions générales	432
614.	Théorie et définitions	432
615.	Polarisation	432
616.	Résistance de la pile	433
617.	Groupement des éléments d'une pile	433
	Description des piles employées dans la marine	436
618.	Pile à eau	436
619.	Pile Daniell	437
620.	Daniell étalon du Post-Office	437
621.	Pile Callaud	438
622.	Pile Bunsen	439
623.	Pile Poggendorff (Bunsen modifié)	439
624.	Élément étalon de Latimer-Clark	440
625.	Couple à maxima	440
626.	Pile Leclanché	441
627.	Pile à oxyde de cuivre de MM. de Lalande et Chaperon	443
	Fonctionnement des piles	443
628.	Tableau des constantes des piles	443
629.	Vérifier le montage d'une pile	444
630.	Étude d'une pile	445
	Accumulateurs ou piles secondaires	447
631.	Théorie	447
632.	Accumulateur Planté	447
633.	Accumulateur Faure	449
634.	Accumulateur Faure-Sellon-Volckmar	449
635.	Charge. Rendement. Capacité	450
636.	Accumulateur Commelin, Desmazures et Baillehache	451

6e Pie, Chapitre VI. — Machines électriques

	Considérations théoriques	453
637.	Théorie de l'anneau Gramme	453
638.	Description de l'anneau Gramme	455
	Excitation des électro-aimants	455
639.	Classification des machines suivant les modes d'excitation	455
640.	Magnétos	456
641.	Dynamos. 1° Excitation indépendante	456
642.	2° Excitation en série	457
643.	3° Excitation en dérivation	457
644.	4° Excitation en double circuit	457
645.	5° Dynamo compound	459
646.	Machines multipolaires	460
	Machines a courants alternatifs	460
647.	Définition	460
648.	Machine de Wilde	461

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes — Pages

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA CONSTRUCTION DES ÉLECTRO-AIMANTS ET DES ARMATURES. . . . 462
649. Courants de Foucault . . . 462
650. Calage des balais. . . . 462

PUISSANCE DES MACHINES. . . . 463
651. Travail. Rendement . . . 463
652. Machine Gramme, type d'atelier. . . . 464
653. Machine Gramme compound. . . . 465
654. Machine Gramme duplex à enroulement compound. . . . 465
655. Machine Gramme à courants alternatifs. . . . 466
656. Machine Siemens. . . . 467
657. Machine Siemens à courants alternatifs . . . 469
658. Machine Edison. . . . 470
659. Machine magnéto de M. de Méritens pour le service des phares . . . 470

FONCTIONNEMENT DES MACHINES ÉLECTRIQUES . . . 472
660. Constantes . . . 472
661. Épreuve de puissance . . . 473
Tableau résumant les résultats de l'épreuve de puissance d'une machine électrique. . . . 474

TRANSMISSION ÉLECTRIQUE DE LA FORCE. . . . 475
662. Réversibilité des machines. . . . 475
663. Exemples de transmission électrique. Moteurs de bateaux. . . . 479
664. Gouvernail électrique, système Washburn . . . 483

6e PIE, CHAPITRE VII. — LUMIÈRE ET ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUES

LAMPES A ARC . . . 484
665. Arc électrique . . . 484
666. Charbons Carré. . . . 485
667. Lampe à main. . . . 485
668. Projecteur Mangin. . . . 486
669. Régulateur Serrin. . . . 487
670. Régulateur différentiel Siemens . . . 489

BOUGIE JABLOCHKOFF . . . 491
671. Description. . . . 491
672. Données relatives aux lampes à arc et aux bougies. . . . 492

LAMPES A INCANDESCENCE . . . 492
673. Théorie . . . 492
674. Lampe Edison. . . . 492
675. Tableau des différents types des lampes Edison . . . 494

INDICATIONS GÉNÉRALES . . . 494
676. Précautions à prendre dans les installations de lumière. . . . 494

APPAREILS PHOTO-ÉLECTRIQUES A BORD DES NAVIRES . . . 495
677. Lampes à main. . . . 495
678. Classification des lampes . . . 496

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes — Pages

APPAREILS PHOTO-ÉLECTRIQUES SUR LES CANOTS A VAPEUR 497
679. Disposition. 497
680. Remarques. 497

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE INTÉRIEUR DES NAVIRES. 498
681. Considérations générales. 498
682. Éclairage électrique du cuirassé *le Richelieu*. 502
683. Dynamo 504
684. Moteur Mégy. 504
685. Régulateur. 505

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DU CUIRASSÉ L' « INDOMPTABLE ». 505
686. Utilité des dynamos à faible vitesse. 505
687. Dynamo 506
688. Moteur à vapeur. — Constitution de chaque unité d'éclairage. 507
689. Disposition générale de l'éclairage. 508

APPLICATIONS DIVERSES DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE 511
690. Observations sur le rôle des feux électriques 511
691. Navigation de nuit dans le canal de Suez. 512
692. Signaux de nuit, système de M. de Méritens. 514
693. Éclairage électrique des phares. 515

PHOTOMÉTRIE ÉLECTRIQUE. 519
694. Indications générales 519
695. Unités photométriques. 520
696. Valeurs relatives des diverses unités photométriques. 520
697. Intensités lumineuses. 521
698. Influence de la direction. 521
699. Photomètre de Rumford. 523
700. Photomètre de Bunsen. 523
701. Photomètre de Foucault 524
702. Méthode photométrique employée dans les ateliers de MM. Sautter et Lemonnier 524
703. Essai des lampes à incandescence. 527
704. Vérification du fonctionnement des lampes à main et des machines Gramme. 530
705. Tableau des valeurs moyennes des éléments des appareils photo-électriques de la Marine. 531

6e Pie, CHAPITRE VIII. — TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE

TÉLÉGRAPHIE. 532
706. Généralités : Télégraphes à cadran et Morse; Télégraphes multiples et duplex; Télégraphie sous-marine. 532
707. Description complète du Morse-Digney. Manipulateur. 536
708. Récepteur du Morse-Digney. 537
709. Installation d'un poste télégraphique. 538
710. Relai de sonnerie. 540

TÉLÉPHONIE 540
711. Théorie 540

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes Pages
712. Téléphone magnétique de Bell 541
713. Téléphone Ader. 542
714. Microphone. 542
715. Microphone de Hughes. 543
716. Transmetteur Ader. 544
717. Poste téléphonique Ader. 545

SEPTIÈME PARTIE

TORPILLES

7e Pie, Chapitre I. — Généralités

Notions préliminaires. 549
718. Aperçu sommaire. 549
719. Historique.. 550
720. Classification des torpilles. 554
721. Défense fixe des ports.. 554
722. Défense mobile des ports. 555
723. Résumé. 556
724. Armement en torpilles des bâtiments de guerre. 556
725. Principe des explosions sous-marines 557
726. Substances explosives employées pour le chargement des torpilles. 560
Amorces et chapelets électriques. 562
727. Amorces Stateham. 562
728. Amorces d'induction. 563
729. Amorces chimiques. 563
730. Amorces mécaniques, fusée Raims. 564
731. Amorces galvaniques ou de quantité. 564
732. Amorces actuelles. 564
733. Constantes des amorces 566
734. Mesure de l'intensité minimum nécessaire pour produire l'explosion 567
735. Tableau d'expériences faites pour rechercher l'intensité du courant minimum nécessaire à l'explosion des amorces actuelles, la différence de potentiel et la résistance à chaud 568
736. Mesure de l'intensité nécessaire pour amener l'explosion en un temps déterminé. 568
737. Chapelets électriques. 569
738. Groupement des piles pour un chapelet 570

7e Pie, Chapitre II. — Torpilles fixes

Torpilles dormantes de fond 573
739. Définition. 573
740. Torpilles dormantes de fond ancien modèle 573
741. Appareil d'essai astatique à trois bornes. 574
742. Épreuves de conductibilité et d'isolement de l'amorçage de la torpille . . . 576

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes — Pages

743. Torpilles dormantes de fond, modèle modifié 576
744. Conditions principales que doivent remplir les torpilles dormantes 577
745. Torpilles de fond en tôle. 578
746. Torpilles dormantes mouillées 580

Défense des passes. 581

747. Distances des torpilles. 581
748. Établissement d'une ligne de défense. Observatoires 581
749. Matériel du poste extérieur. 583
750. Table de manipulation 583
751. Pile d'inflammation 585
752. Boîte de résistances variables 585
753. Appareil télégraphique. 585
754. Galvanomètre. 586
755. Matériel du poste intérieur. Tables de manipulation. 586
756. Épreuves; appareil d'essai. 589

Torpilles vigilantes. 590

757. Classification. 590
758. Torpilles vigilantes électro-automatiques. 590
759. Torpilles vigilantes automatiques-électriques 594
760. Torpilles dormantes devenant vigilantes 595
761. Sensibilité des torpilles vigilantes. 596
762. Brise-circuits. Relais. 597
763. Torpilles automatiques 598

Autres combinaisons pour la défense des passes. Attaque de celles-ci. 598

764. Disposition des torpilles dormantes par groupes 598
765. Chapelets de torpilles flottantes 599
766. Torpilles dérivantes 601
767. Attaque d'une passe 601

7e Pie, Chapitre III. — Torpilles mobiles

Torpilles portées 603

768. Généralités. 603

torpille portée modèle ancien 604

769. Description de la torpille 604
770. Amorçage et chargement. 605
771. Circuit pour l'inflammation à volonté 605
772. Circuit pour l'inflammation électro-automatique. 606

Torpille portée modèle récent 606

773. 606
774. Carcasse 606
775. Inflammateur. 607
776. Proue et poupe. 608
777. Torpille portée, autre modèle récent 608
778. Charge-amorce et amorçage 608
779. Chargement de la torpille. Montage. 609
780. Épreuves. 609

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes Pages

781. Pile 610
782. Conjoncteur 610
783. Disposition théorique du circuit des torpilles portées 610

CANOTS PORTE-TORPILLES 611

784. Canots porte-torpilles à rames. 611
785. Canots à vapeur porte-torpilles 613

TORPILLES DIVERGENTES 615

786. Destination. 615
787. Essais faits en France sur différents systèmes de torpilles divergentes 616

TORPILLE DIVERGENTE, MODÈLE 1877. 617

788. Disposition générale 617
789. Torpille proprement dite. 617
790. Flotteur 619
791. Organes de déclenchement 620
792. Gréement du flotteur 620
793. Mouilleurs 621
794. Treuil 622
795. Déroulement automatique ou à la main 623
796. Enroulement de la remorque 623
797. Communications électriques, et poste d'inflammation. 624
798. Manœuvre des torpilles divergentes. 626

CONDUCTEURS ÉLECTRIQUES ET PILES POUR LES TORPILLES FIXES ET MOBILES. 626

799. Conditions à remplir. 626
800. Tableau des divers conducteurs. 628
801. Résistance électrique de l'âme des conducteurs employés dans le service des défenses sous-marines (supposés en *cuivre pur recuit*). 630
802. Isolements kilométriques minima des divers conducteurs employés dans le service des défenses sous-marines. 630
803. Tableau des forces électromotrices, des intensités en court circuit et des résistances intérieures correspondant aux piles employées dans le service des défenses sous-marines 630

7e PIE, CHAPITRE IV. — TORPILLE AUTOMOBILE WHITEHEAD (AUTRICHE) ET SCHWARTZKOPF (ALLEMAGNE)

804. Aperçu sur les torpilles automobiles. 631

RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX SUR LA TORPILLE WHITEHEAD. 632

805. Dispositions d'ensemble, et différents modèles.. 632
806. Compartiments de la torpille. 633
807. Direction de la torpille. Théorie du piston hydrostatique et du pendule. . . 633

DESCRIPTION DES ORGANES DE LA TORPILLE WHITEHEAD. 639

I. — *Cône de charge*. 639

808. Destination. 639
809. Pointe percutante. 639

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes Pages
810. Boîte d'amorce. . . . 640
811. Charge-amorce. . . . 640
812. Détonateur à percussion. . . . 640
813. Cartouche. . . . 641
814. Tableau des charges des torpilles des différents modèles. . . . 641
815. Verrou de sûreté. . . . 641
816. Pointe percutante, modèle actuel. . . . 641

II. — *Chambre des régulateurs d'immersion.* . . . 643

817. Piston hydrostatique. . . . 643
818. Pendule. . . . 645
819. Transmission de mouvement. . . . 646
820. Chambre des régulateurs dans les autres modèles . . . 647

III. — *Réservoir à air comprimé.* . . . 648

821. Mode de construction du réservoir. . . . 648
822. Pression. . . . 649

IV. — *Cône arrière, et machine motrice.* . . . 650

823. Composition et mode de fixation du cône arrière. . . . 650
824. Boîte des soupapes. . . . 651
825. Régulateur de pression de la machine motrice. . . . 652
826. Machine Brotherood. . . . 653
827. Données principales des machines Brotherood. . . . 654
828. Machine Whitehead. . . . 655
829. Données principales des machines Whitehead. . . . 656
830. Puissance du moteur des torpilles automobiles des différents modèles. . . . 656
831. Servo-moteur. . . . 657
832. Dimensions principales des servo-moteurs. . . . 659
833. Tige de transmission. Levier coudé. . . . 659
834. Bielle verticale. . . . 659
835. Transmission entre le servo-moteur et le gouvernail . . . 660
836. Flotteur AR. . . . 660

V. — *Compartiment des engrenages.* . . . 661

837. Pignons. Hélices. . . . 661
838. Tableau donnant le diamètre et le pas des hélices des torpilles réglementaires. . . . 661

VI. — *Queue de la torpille.* . . . 662

839. Indications générales . . . 662
840. Surfaces et épaisseurs des diverses parties de la queue dans les différents modèles. . . . 662
841. Ailettes directrices de Schwartzkopf. . . . 663
842. Mécanisme de stoppage. Roue striée . . . 663
843 Fonctionnement du mécanisme de stoppage. . . . 665
844. Régler le compteur de stoppage pour un parcours donné. . . . 665
845. Mécanisme d'immobilisation du G H. . . . 666
846. Immobilisation du G H dans les différents cas . . . 668
847. Tableau récapitulatif des données relatives à l'immobilisation du G H. . . . 669
848. Mécanisme de submersion. . . . 670

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes — Pages

TORPILLES MODÈLES 1885, 1885 MODIFIÉ, ET 1886. 671

849. Particularités du modèle 1885. 671
850. Installation des engrenages. Queue 671
851. Soupape de conservation d'air et de chargement. 672
852. Palette russe. Soupape de prise d'air équilibrée 673
853. Levier de prise d'air commandant le système précédent 675
854. Mécanisme automatique de stoppage 676
855. Mécanisme d'immobilisation du GH. 677
856. Mécanisme de submersion. 678
857. Modifications de détail 678
858. Torpille modèle 1885 modifié. 679
859. Torpille modèle 1886 680

REVUE SOMMAIRE ET COMPARATIVE DES DIFFÉRENTS MODÈLES DE TORPILLES AUTOMOBILES. 682

860. Modèle 1876. 682
861. Modèle 1877. 683
862. Modèles 1878 (Indret). (1° *arrière carré*; 2° *arrière triangulaire*). . . . 683
863. Modèle 1880 (4m,42, 5m,75). 684
864. Modèle 1880 modifié. 684
865. Modèle 1882 (3m,75) 684
866. Modifications aux modèles 1877-1878. 684
867. Modèle 1885 (4m,40, 5m,75) 685
868. Modèle 1885 modifié. 685
869. Modèle 1886 (4m,40, 5m,75). 686
870. Conclusion 686

7e PIE, CHAPITRE V. — OPÉRATIONS PRÉLIMINAIRES AU LANCEMENT DES TORPILLES WHITEHEAD

RÉGLAGE. 687

871. Assiette et flottabilité. 687
872. Détermination du centre de gravité 690
873. Déterminer la position du centre de gravité dans le sens latéral. 692
874. Détermination du centre de carène 693
875. Régler une torpille pour l'eau douce. 694
876. Étude des forces agissant sur la torpille. 695
877. Influence des positions relatives du centre de gravité et du centre de carène 695
878. Action du gouvernail de profondeur ou GH. — Influence de la bande 697
879. Action des hélices 699
880. Actions simultanées de la pesanteur, de la poussée hydrostatique, du GH et des hélices. — Valeurs à donner aux angles d'égalité d'actions 700
881. Courses des régulateurs d'immersion et de leur transmission 701
882. Données pratiques. 702
883. Course du piston hydrostatique 702
884. Course des tampons 704
885. Amplitude d'oscillation du pendule 705
886. Égalités d'actions 705
887. Déplacements maxima du GH; positions correspondantes du bouton *b* . . . 706
888. Utilité de fractionner la tige du piston hydrostatique 708

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Paragraphes Pages

889. Résumé numérique concernant les déplacements du GH et des régulateurs. . 709
890. Vérification à l'atelier du fonctionnement des régulateurs d'immersion 710
891. Déplacements du bouton *b*, et résultats déduits. 711
892. Autre mode de réglage du piston hydrostatique et du pendule. 712
893. Déterminer la tension des ressorts du piston hydrostatique pour des immersions données. 713
894. Romaine d'épreuve. 714
895. Déterminer la longueur de la tige du piston hydrostatique. 715
896. Réglage de la transmission des régulateurs d'immersion au GH. 716
897. Essai au point fixe du ressort du régulateur de pression. 717

BALANCEMENT. 721

898. Opération du balancement. 721
899. Vérifications préliminaires 721
900. Balancement proprement dit. 722
901. Immobilisation du GH : mise à point du mécanisme 724
902. Observations sur le balancement. 725

TIRS DE RÉGLAGE 727

903. Étude de la trajectoire. 727
904. Enregistreur d'immersion, système Besson. 727
905. Interprétation d'une courbe 729
906. Enregistreur d'immersion et de bande, système Whitehead 732
907. Considérations générales sur les trajectoires 733
908. Trajectoire verticale. 733
909. Trajectoire horizontale. 734

FIN DU TOME PREMIER

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires