

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 n° 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 - https://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](mailto: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

Auteur(s)	Breuil, Pierre
Titre	La section des métaux du Laboratoire d'essais du Conservatoire national des Arts et Métiers
Adresse	Paris : Société des ingénieurs civils de France, 1909
Collation	1 vol. (62 p.-1 p. de pl.) : ill. ; 24 cm
Nombre de vues	65
Cote	CNAM-BIB 8 Ku 108 (5)
Sujet(s)	Laboratoire commun de métrologie LNE-Cnam (Paris) Génie industriel -- 20e siècle
Thématique(s)	Histoire du Cnam
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	10/04/2025
Date de génération du PDF	10/04/2025
Notice complète	https://www.sudoc.fr/124226531
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8KU108.5

8^e Km 108 (5)

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

FONDÉE LE 4 MARS 1848

Reconnue d'utilité publique par décret du 22 décembre 1880

19, rue Blanche, PARIS

LA
SECTION DES MÉTAUX

DU

LABORATOIRE D'ESSAIS

DU

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS



PAR

M. Pierre BREUIL

CHEF DE LA SECTION DES MÉTAUX DU LABORATOIRE D'ESSAIS
DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS.

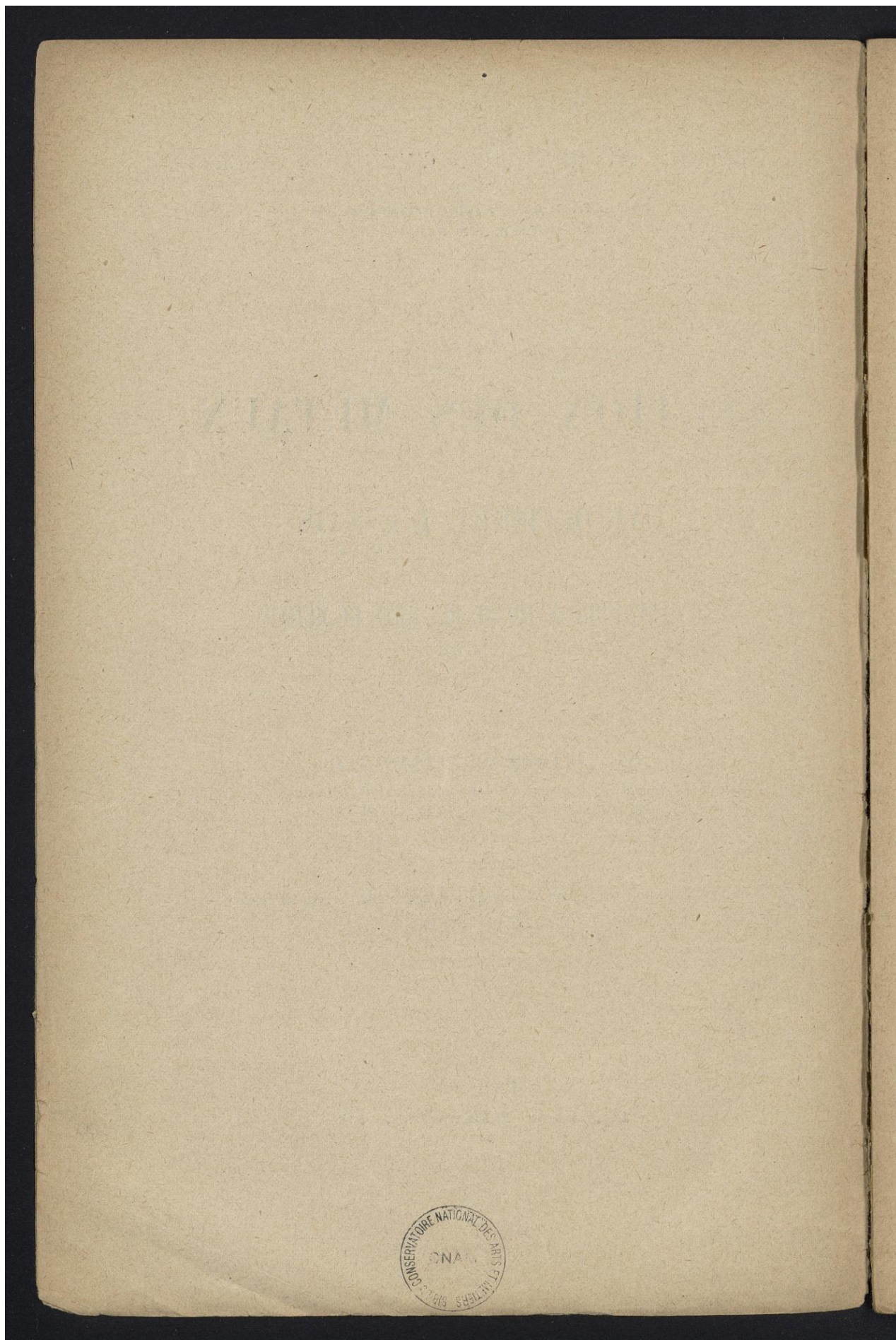
EXTRAIT DES MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

(Bulletin de juillet 1909.)

PARIS

19, rue Blanche, 19

1909



LA SECTION DES MÉTAUX

DU

LABORATOIRE D'ESSAIS DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS ⁽¹⁾

PAR

M. Pierre BREUIL



Ses ressources expérimentales. — Ses travaux les plus importants de ces dernières années.

La Section des Métaux du Laboratoire d'essais du Conservatoire national des Arts et Métiers, qui fait l'objet de ce travail, appartient à un ensemble dont les grandes lignes ont déjà été exposées en 1905 devant la Société des Ingénieurs Civils. Nous n'avons pas l'intention de beaucoup développer les descriptions succinctes qui ont été consacrées à cette section en particulier. Nous nous bornerons, en ce qui concerne son outillage, à compléter la documentation qui s'y rapporte par un rapide exposé des nouveaux mécanismes et des nouveaux procédés opératoires qui sont employés et qui présentent un intérêt général suffisant. Nous nous efforcerons ensuite de dégager, du grand nombre d'expériences faites depuis plusieurs années, une série de résultats s'appliquant aux matériaux très divers qui ont été l'objet des travaux de cette section. Ces résultats, présentés avec la coordination nécessaire, peuvent fournir des constantes utiles aux ingénieurs trop souvent forcés de s'en rapporter à des formulaires plus ou moins adéquats pour la fabrication ou l'utilisation de leurs matériaux.

Nous nous hâtons d'ajouter que, fidèle aux prescriptions que nous impose le secret professionnel, nous ne saurions, en aucun cas, faire état de résultats d'essais précis et originaux dont le dessaisissement ne nous aurait pas été consenti par ceux qui

(1) Voir Procès-Verbal de la séance du 2 juillet 1909, page 527.

nous les ont fait établir. Nous ne donnerons donc des chiffres précis que lorsque nous aurons été autorisé à le faire. Le reste de la documentation présentée ne sera que l'expression d'une opinion personnelle, et les chiffres indiqués des approximations seulement, données sans garantie, mais établies avec une logique vécue.

Nous ne citerons personne et ne ferons pas connaître les circonstances qui ont provoqué les essais dont les résultats ne cessent pas pour cela d'être intéressants. Nous espérons, de cette façon, être utile à tous les ingénieurs sans nuire à aucun d'eux et nous serions heureux que ce travail pût arriver à démontrer que la Section des Métaux du Laboratoire d'Essais du Conservatoire des Arts et Métiers a fait œuvre utile et que le Laboratoire, au moins aussi bien orienté, dans ses quatre autres sections que dans celle-ci, n'est pas indigne de la sollicitude que la Société des Ingénieurs civils de France n'a cessé de lui témoigner depuis sa création.

A. — Mécanismes et méthodes d'essais de la section des métaux.

Nous avons toujours eu dans la pensée qu'il ne fallait pas confondre les méthodes d'essais avec les mécanismes employés pour l'expérimentation des matériaux. Cette assertion évidente n'est pas toujours comprise et nous répétons ici ce que nous avons dit naguère : « Le but de l'expérimentation des métaux ou similaires est évidemment la découverte de leurs propriétés, propriétés éminemment variables au point de vue utilitaire. La méthode d'expérimentation nous paraît être la voie qui conduit à ce but. Le mécanisme d'expérimentation ne serait que le véhicule qui nous conduit au but par la voie de la méthode » (1).

C'est en nous inspirant de ces principes que nous avons organisé la Section des Métaux du Laboratoire d'Essais du Conservatoire des Arts et Métiers. Nous nous sommes toujours efforcé, quand la nécessité s'en imposait, à ne jamais perdre de vue le but poursuivi par les personnes qui nous honoraient de leur confiance en nous présentant leurs matériaux. Les méthodes employées par nous n'ont pas toujours été calquées sur les procédés

(1) *Revue de Mécanique*, 1907 : « Nouveaux mécanismes et nouvelles méthodes pour l'essai des métaux ».

préconisés par les associations ou les Congrès qui se préoccupent de l'expérimentation des matériaux. A chaque instant il faut innover dans ce domaine de la science, tellement il est difficile, et important parfois, de faire parler en quelque sorte la matière, tellement le but poursuivi varie, tellement les besoins, comme les moyens, sont divers.

La multiplicité et la diversité des cas de l'expérimentation qui sortent de l'ordinaire exigeraient que la Section des Métaux eût, pour elle-même, un outillage bien plus grand encore que celui dont elle dispose particulièrement; cet outillage, indispensable par instants, risquerait de dormir trop souvent et serait par suite d'un rendement médiocre; heureusement qu'à côté d'elle la section trouve chez ses camarades ce complément d'outillage plus immédiatement utile à ces dernières et qui, par une sage prévoyance, a été conçu ou prévu sans faire double emploi.

Ce qui précède a pour but de dire que la section peut compter sur des ressources expérimentales autres que celles dont il est question ci-après et par conséquent est en mesure, dans des limites étendues, de satisfaire aux desiderata de la clientèle, de réaliser le but qu'elle poursuit et qui doit être plus souvent atteint en s'inspirant de la logique expérimentale que de la réglementation doctrinaire assez peu solide dans ce domaine de la technique.

La Section des Métaux n'a pas à s'occuper seulement des métaux; elle opère également sur d'autres matériaux à classification mal définie ou incomplètement étudiée. Nous voulons parler des bois, dont les caractéristiques sont importantes bien qu'insuffisamment coordonnées, des cordages, des cuirs, des tissus, des caoutchoucs, des huiles, etc., toutes matières dont la consommation est grande, sinon soumises à des modes d'appréciation codifiés; mais ce sont évidemment les métaux qui forment la majeure partie de ses préoccupations et de ses occupations.

Les métaux peuvent être examinés à l'état de pièces ouvrées ou de pièces n'ayant subi qu'un façonnage rudimentaire. Tout le monde apprécie les formes innombrables que ces métaux sont capables de prendre avant leur emploi depuis le moulage brut jusqu'à la pièce prête à être mise en service. On conçoit qu'il faille, suivant l'état transitoire ou définitif dans lequel les métaux se trouvent, faire varier leurs conditions d'expérimentation. Il faut les examiner avec différents modes de sollicita-

tion : sollicitations statiques, sollicitations dynamiques (s'exerçant par traction, compression, flexion, torsion), sollicitations localisées, sollicitations combinées, sollicitations répétées. Toutes ces manifestations des actions susceptibles d'intéresser la résistance et l'intégralité de la substance des matériaux mériteraient d'être examinées, appréciées suivant leurs effets, reliées les unes aux autres. Malheureusement, les moyens dont dispose l'ingénieur n'ont pas permis jusqu'à présent d'envisager le problème de l'expérimentation de la matière sous un jour aussi vaste. On s'en tient aux cas simples, faciles à comprendre et à interpréter, suffisants pour résoudre les transactions commerciales ou industrielles portant sur la recette des matériaux. On n'essaie les pièces fabriquées que trop peu souvent et quand les constatations découlant de leurs essais sont immédiatement applicables. On ne se soucie pas suffisamment de vérifier comment elles se comporteraient sous les mille formes où elles ont à travailler dans la pratique. Cela revient à dire que l'expérimentation actuelle des métaux en particulier et des matériaux en général se réduit, d'une part, à qualifier les propriétés de la matière au point de vue intrinsèque, pour la fixation de l'état civil, pourrait-on dire de cette dernière qui, ultérieurement, revêtira parfois des formes quelconques ; d'autre part, à apprécier les propriétés de résistance et de déformabilité de quelques pièces essayées suivant des procédés aussi simples que possible et se rapprochant des modes de sollicitations auxquelles ces pièces seront soumises pendant le cours de leur existence.

Très souvent les mêmes mécanismes d'essais peuvent servir à ces deux genres d'expériences ; on rompt aussi bien par traction une barrette calibrée destinée à la mesure de la résistance et de l'allongement d'un métal, qu'un crochet ou une chaîne faits avec ce métal. Il faut même souvent procéder aux essais sur les deux genres de pièces pour ne pas risquer de laisser échapper l'influence des facteurs prépondérants de la fabrication de la pièce ouvrée : les dimensions, les soins de préparation, etc.

Toutes ces longues digressions n'ont qu'un but : indiquer une fois pour toutes que la majorité des machines de la Section des Métaux du Laboratoire du Conservatoire sont aptes à faire les essais de pièces très variées répondant à des buts très différents. Nous nous sommes efforcés pour la plus grande d'entre elles : la machine de 300 t, de prévoir les moyens expérimentaux, en apparence les plus exagérés, en réalité à peine suffisants.

MACHINES POUR ESSAIS DE TRACTION, COMPRESSION ET FLEXION

La description succincte de cette machine a déjà été faite ; nous n'y reviendrons donc pas. Mais beaucoup de personnes ont pu se demander pourquoi cette machine était si longue, si large et si puissante. Il est bien inutile d'avoir en effet un pareil colosse pour vérifier la qualité d'un métal ; de petits fragments bien calibrés qu'on rompt à une petite machine de quelques tonnes suffisent en effet, mais, comme on vient de le dire, il faut essayer aussi les pièces fabriquées avec ce métal. Ces pièces seront longues ou larges et il faudra de grands efforts pour les déformer. La petite machine sera impuissante, la grande sera alors indispensable. Si les ingénieurs américains qui ont fait les calculs des membrures du pont de Québec, si lamentablement écroulé l'année dernière dans le Saint-Laurent, au cours du montage, avaient pu vérifier au flambage, avant ce montage, quelques-unes des membrures effondrées, parce que trop fortement comprimées, ils n'auraient pas eu à se reprocher l'engloutissement de nombreux millions.

Nous insistons sur ce point. Il faut de plus en plus faire les essais sur les pièces fabriquées que le calcul est impuissant à créer avec certitude, et des machines comme celle de notre section sont non seulement utiles mais indispensables. On l'a si bien compris en Amérique, après la catastrophe précitée, qu'on propose de créer des machines d'essai capables de développer des efforts de 10 000 t et d'essayer d'énormes pièces simples ou composées, pour se faire, au sujet de ces dernières, une opinion fondée sur des expériences et non pas sur des supputations plus ou moins discutables.

La machine d'essais de 300 t de notre section sert surtout aux essais de pièces ouvrées, telles que longues et grosses chaînes pour grands appareils de levage ou, amarrage de bateaux, câbles de minés en acier ou en aloës, crochets de véhicules de chemins de fer, brides de tuyaux, crics et vérins, poutres en fer ou autres, pièces en ciment armé, rails, etc., etc.

La précision de ses mesures jusqu'aux charges les plus élevées, réalisée grâce à des dispositifs réduisant considérablement le frottement et l'inertie des pièces de transmission des efforts à la balance, les dimensions transversales très vastes de son bâti, la commodité de l'enregistrement automatique des essais sous

forme d'un diagramme, rendent la machine précieuse. Rappelons qu'elle permet d'essayer à la traction des pièces de 25 m de longueur, à la compression des pièces de même longueur et de 600 mm $\times$ 600 mm de section transversale, à la flexion des poutres de 6 m de longueur et de 4 mm $\times$ 4 mm, au cisailage des tôles de 60 mm d'épaisseur. Au poinçonnage, elle permet de réaliser des trous de 60 mm de diamètre sur 60 mm d'épaisseur. Enfin, à la torsion, elle permet d'essayer des arbres de 4 m de longueur sur 60 mm de diamètre.

On pourra nous demander si la machine a vu son outillage servir suffisamment, nous répondrons par l'affirmative et on pourra en juger plus loin par quelques résultats d'essais que nous présentons et qui ont été établis avec elle.

Nous ajoutons que, bien entendu, elle sert aux mesures fines qui ont pour but d'établir les caractéristiques des matériaux en tant que la matière seule de ces derniers est en jeu.

Les autres machines pour sollicitations statiques variées (traction, compression, flexion), dont dispose la section comprennent :

1° Une machine, système Maillard, de 50 t à traction, et mesurant les efforts au moyen de dispositifs hydrauliques, capable d'essayer des pièces courtes ;

2° Une machine, système Trayvou, de 25 t, à traction par vis et mesurant les efforts au moyen d'une balance.

Ces deux machines sont munies d'enregistreurs automatiques.

3° Une machine de 25 t, système Tangye, à traction hydraulique et à long banc ;

4° Une machine, système Falcot de 4 tonnes, à traction à vis, munie d'enregistreurs et servant aux essais de petites pièces longues ou courtes.

Cette machine est susceptible de faire des essais de traction, de compression et de flexion, non seulement d'une façon lente et jusqu'à rupture, mais également avec sollicitations répétées ; en un mot elle permet de réaliser des essais dits d'endurance. Certains matériaux, certaines pièces exigent un mode d'essai de ce genre : ce sont celles jouissant d'une grande déformabilité élastique telles que les ressorts et les pièces en caoutchouc.

5° Une machine de 2 500 kg, système Frémont, réservée à la traction de courroies, forts tissus, etc., munie d'un enregistreur ;

6° Un dynamomètre Ollivier à balance pendulaire de 500 kg,

avec double sensibilité (c'est-à-dire son échelle peut servir à la mesure soit de 100, soit de 500 kg), servant aux essais de tissus et de fils fins et muni d'un enregistreur.

Cette machine permet des essais de perforation des tissus ; il en sera question un peu plus loin.

Comme on le voit, les machines précitées sont toutes pourvues d'un enregistreur qui permet de réunir à chaque instant, dans un diagramme, les efforts et les déformations que ces efforts produisent dans les pièces en essai. Cette question nous semble de la plus haute importance. Il ne suffit pas, en effet, de se contenter d'une charge de rupture, d'un allongement, voire même d'une limite élastique pour juger des qualités d'une matière ; les déformations que cette matière éprouve pendant la progression

Diagrammes d'Essais de traction d'un
acier trempant à différents états.

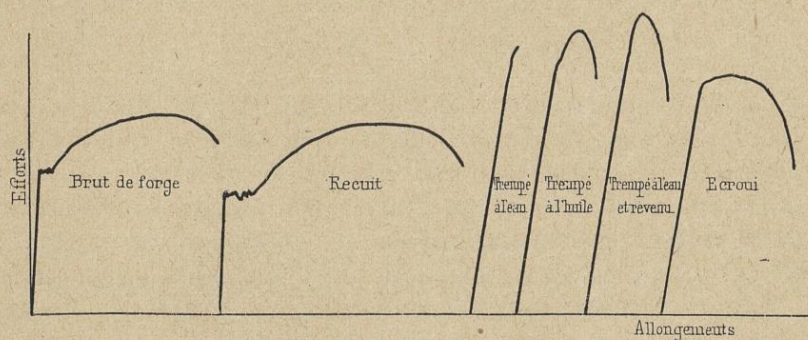


FIG. 1.

des efforts et jusqu'à l'effort ultime qui en détruit plus ou moins localement la cohésion, importent au même degré. Un diagramme de traction, de compression ou de flexion parle souvent mieux que des chiffres ; son allure est presque toujours une caractéristique du plus haut intérêt. Ainsi on distingue très bien le traitement mécanique ou thermique subi par un acier par la forme de son diagramme de traction. Un acier trempant, c'est-à-dire un peu carburé, peut affecter les formes de diagramme de la figure 1 selon le traitement qu'il a subi.

Deux métaux de nature fort différente : le fer et le laiton ordinaire, par exemple, peuvent avoir la même limite élastique, la même charge de rupture et le même allongement et avoir des

formes de diagrammes complètement différentes. Nous donnons dans la figure 2 ci-après l'allure de ces diagrammes.

Il faut donc de plus en plus tracer ces courbes qui, correc-

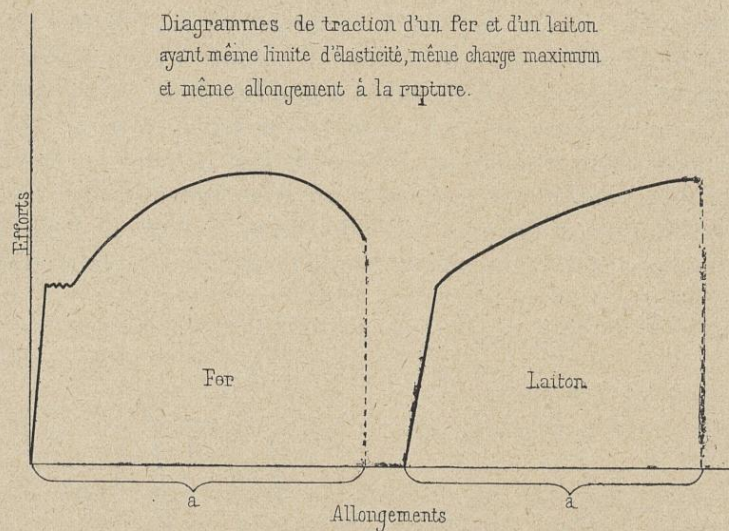


FIG. 2.

tement classées et interprétées, peuvent rendre les plus grands services à ceux qui sont partisans d'une expérimentation méthodique.

APPAREILS POUR MESURES PRÉCISES DES DÉFORMATIONS

Les mécanismes pour mesures de précision (notamment des déformations élastiques des métaux) dont la section dispose, comprennent :

- a) Un élasticimètre Néel et Clermont apte à mesurer et à enregistrer les déformations élastiques à $\frac{1}{1\,000}$ de millimètre près.
- b) Des appareils à rouleaux de Bauschinger permettant de lire le 250^e de millimètre.
- c) Un enregistreur Mesnager amplifiant les déformations 750 fois et les mesurant sur 50 mm. Ce bel appareil jouit de la particularité de n'avoir aucune articulation libre ; les axes y sont

remplacés par des lames de ressort, exactement comme dans la balance des machines Emery-Sellers.

d) Des appareils enregistreurs Rabut permettant d'amplifier les déformations 2 fois et demi, 5 fois, 10 fois et 20 fois à volonté. Ces appareils nous servent aux essais de charpentes, de poutres, de planchers, etc.

e) Des appareils Manet servant au même but que ces derniers et qui se montent directement sur les pièces en essai contrairement à ceux de Rabut qui en sont indépendants.

Nous ne faisons que citer ces appareils qui sont connus par beaucoup d'ingénieurs. Les personnes qui désireraient en avoir une description plus complète pourront se reporter aux mémoires originaux consacrés à leur description ou au *Traité des Essais des Matériaux de Martens* (chez Gauthier-Villars) ou à un travail intitulé « Nouveaux mécanismes et nouvelles méthodes pour l'essai des métaux » publié par l'auteur dans la *Revue de Mécanique* (1907-1908).

AUTRES MÉCANISMES D'ESSAI

La section dispose, pour les essais de compression de pièces volumineuses, d'une presse de 500 tonnes à hauteur réglable ; d'une presse de 80 tonnes à 4 pistons jumelés, sans compter bien entendu, les machines précédemment décrites. Un accumulateur hydraulique à pressions variables depuis 25 jusqu'à 125 kg par centimètre carré dessert ces machines ; un compresseur hydraulique à commande à vis permet également de réaliser des pressions de 160 kg par centimètre carré ; enfin la section dispose de pompes à main permettant d'atteindre des pressions hydrauliques de 500 kg par centimètre carré.

Pour les essais de flexion en porte-à-faux sur barreaux de fonte, il faut citer un appareil de Monge, peu employé d'ailleurs ; ce genre d'essai nous paraît bien suranné.

Pour la torsion, outre l'appareillage de la grande machine d'essai qui permet de réaliser un couple de 1 500 kgm, la section possède une petite machine système Ansler-Laffon pour fils et petites tôles ; cette machine est à balance pendulaire et peut mesurer un couple de 8 kgm. Elle est munie d'un enregistreur.

Pour la mesure de la dureté des métaux, qui depuis quelques années est une caractéristique de plus en plus appréciée et ce, à juste titre, la section emploie trois méthodes : 1^o celle de Brinell, bien connue, et pour cela nous disposons d'une petite

presse de 3 000 kg ; 2° la méthode par rayure au moyen d'un diamant agissant sur surface polie. Nous nous servons, dans ce cas, d'un scléromètre de Martens, pouvant produire une pression de 50 g sur la pointe de diamant ; 3° une nouvelle méthode, que M. Robin, notre assistant et nous, avons essayé de mettre au point et qui consiste à user les métaux à une vitesse et une pression données sur du papier émeri d'un grain donné, remplacé pour chaque échantillon. La perte de poids constatée est la mesure de la dureté du métal.

Nous ne rangeons pas dans ce genre de déterminations celles qu'on peut faire au moyen de la méthode du rebondissement de la bille. M. de Fréminville a montré, et nous avons confirmé ses résultats, qu'en laissant choir une bille en acier sur une matière et en mesurant son rebondissement, on ne mesure pas seulement la dureté de cette matière, mais aussi son élasticité plus ou moins parfaite.

Pour le caoutchouc nous avons imaginé un petit appareil permettant de mesurer cette élasticité et en même temps la dureté par pénétration d'une pointe dans ce caoutchouc.

MÉCANISMES POUR SOLLICITATIONS DYNAMIQUES

Les métaux n'ayant pas que des sollicitations statiques à subir, il est naturel de les examiner suivant les autres genres d'efforts auxquels ils sont soumis. Les efforts dynamiques sont parmi ceux les plus intéressants à étudier. On peut d'ailleurs les exercer sous différentes formes : traction, compression, flexion, etc. A ce point de vue la section des Métaux possède un outillage complet étudié par nos soins.

Les efforts dynamiques peuvent être appliqués à des pièces ouvrees ou à des barrettes calibrées, et sont produits par la chute de poids de valeur variable (5, 10, 20, 40 kg).

Pour les essais de traction par choc nous disposons d'un mécanisme que la figure 3 représente. Il comprend deux pièces *A* et *B* auxquelles l'éprouvette *C* est attachée. La pièce *B* peut passer entre deux appuis *D D* fixés à une chabotte *E*, mais la pièce *A* ne le peut pas. Si l'on soulève l'ensemble des pièces *A* et *B* et de l'éprouvette *C* et qu'on le laisse tomber en chute libre, *A* sera arrêtée par les appuis *D*, et *B* exercera une tension sur *C* et pourra rompre cette barrette. Puis *B* continuant sa chute viendra tomber sur un crusher en cuivre *G* placé sur une

enclume *F* et écrasera ce crusher d'une quantité qui est fonction du travail potentiel que ce poids *B* avait après la rupture de la barrette *B*, travail augmenté d'ailleurs de celui pris par *B* pour sa chute libre après la rupture de *C*. En un mot il est facile de mesurer le travail résiduel de *B* après la rupture de la barrette. Comme, d'autre part, on connaît le travail potentiel de *B* au moment où *B* commence à exercer sa tension sur *C*, et cela parce qu'on connaît le poids de *B* et sa hauteur de chute, on est donc en mesure, en retranchant le travail résiduel du travail potentiel, de déterminer le travail absorbé pour la rupture de la barrette *C*. On peut remplacer le crusher *G* par un ressort récupérateur. Nous préférons le crusher qui peut être conservé dans une collection.

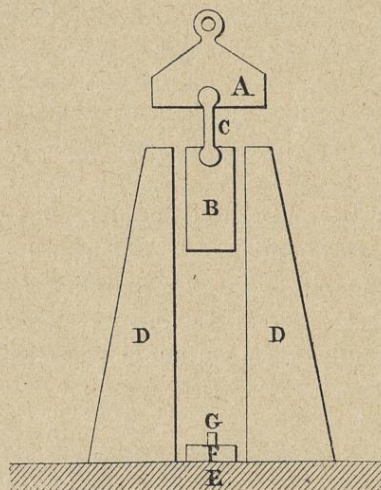


FIG. 3.

Il est évident qu'on peut faire varier la hauteur de chute et le poids du mouton tracteur, la longueur de la barrette, ses dimensions transversales; on peut entailler ou non cette dernière. Le mécanisme se prête à toutes ces variations.

Avec lui, nous avons pu démontrer que les essais dynamiques sont en relations très étroites avec les essais statiques; ils ne disent pas autre chose que ces derniers. Cependant il y a des exceptions et les métaux qui en font l'objet doivent être qualifiés de métaux dangereux.

Une modification simple de l'outillage précédent permet de l'utiliser pour l'essai au choc de barreaux fléchis sur deux appuis ou en porte-à-faux, nous n'insisterons pas sur ce sujet; nous nous contenterons de dire que nous pouvons, avec cet appareillage, satisfaire à un grand nombre de desiderata expérimentaux où les sollicitations dynamiques sont en jeu.

APPAREILS POUR L'EXAMEN DE LA STRUCTURE DES MÉTAUX

La section dispose d'une installation complète pour l'examen macroscopique et microscopique des métaux. Le microscope

primitivement du système Le Chatelier-Pellin a été très amélioré par nos soins relativement à la mise au point et à l'éclairage. Nous parvenons sans difficultés à faire des photogrammes au grossissement des 2 000 diamètres et c'est pour nous l'occasion de dire que, pour certains aciers, on n'arrive à voir un peu leur constitution qu'avec un grossissement de plus de 1 000 diamètres. Bien des affirmations basées sur des photogrammes trop peu fouillés seraient à rejeter si l'on prenait la peine et si l'on avait les moyens de mieux pénétrer la structure de la matière étudiée.

Notre microscope permet non seulement d'examiner les métaux par réflexion, mais aussi certains corps par transparence. C'est ainsi que nous avons pu faire une étude sur la vulcanisation de bandes de caoutchouc minces et transparentes, comme il sera dit plus loin.

L'appareil est éclairé par un arc de 20 ampères ; nous signalons la nécessité de l'emploi d'une source lumineuse très intense si l'on ne veut pas éterniser le temps de pose et laisser dans l'ombre des points souvent indispensables à fouiller.

Nous avons organisé les parties optiques du microscope servant à l'éclairage de l'objet, de façon à répartir la lumière aussi uniformément que possible sur la surface à éclairer et c'est ce qui nous a permis de faire sans difficultés les plus forts grossissements.

Notre installation de polissage n'a rien de particulier, nous nous servons pour le finissage des échantillons de la poudre d'alumine ou du talc.

APPAREILS POUR LE TRAITEMENT THERMIQUE DES MÉTAUX

Les traitements thermiques qu'on peut faire subir aux métaux sont très variables ; la section ne peut songer à les réaliser tous, mais elle est outillée pour procéder aux plus importants. Elle est munie en effet :

1° D'un four électrique à arc système Gabreau qui permet de réaliser des températures élevées et de fondre des métaux tels que le platine. Le creuset est placé entre quatre charbons montés en série deux par deux et alimentés sous 110 volts continus ; ce creuset est mû par un mécanisme spécial de façon que ses points soient régulièrement chauffés ;

2° D'un four Méker à creuset de petites dimensions dans lequel

on peut réaliser la température de 1 500° au moyen d'un chalumeau soufflé avec de l'air comprimé ;

3° D'un four à cornue permettant de réchauffer des pièces de 1 m de longueur sur 200 cm de côté à chauffage à la houille ;

4° D'un four à chalumeau permettant de chauffer des barrettes de 350 mm de longueur et dont la cavité a 200 mm $\times$ 400 mm de section. Avec ce four bien fermé, on réalise des températures de 1 500°. C'est celui qui nous sert aux chauffages où la précision est de rigueur. Des étalonnages soignés nous ont montré qu'à 1 200° par exemple, on a pas plus de 10° d'écarts d'un point à l'autre du four.

Il sert au recuit, à la cémentation, à la trempe, au revenu des métaux ;

5° Un four à cuve chauffé avec des chalumeaux qui nous permet de faire des revenus à température rigoureuse dans l'huile ou dans le plomb fondu.

Pour la mesure des températures, la section dispose de pyromètres Le Chatelier et de quilles de Seger.

Un galvanomètre enregistreur Callendar donne toute facilité d'établir les courbes de fusion et de solidification, les points singuliers des métaux. D'importantes études ont été faites avec cet appareil.

APPAREILS POUR LA MESURE DU FROTTEMENT DES MÉTAUX ET DES HUILES

A la section des Métaux est dévolue la tâche d'étudier les métaux et les lubrifiants au point de vue de leur frottement. Pour cela elle possède plusieurs mécanismes :

1° Une machine Martens à pendule qui permet de mesurer le coefficient de frottement à des pressions jusqu'à 100 kg par centimètre carré, à des vitesses de 6 m à la seconde et jusqu'à la température de 80° C. C'est une machine de précision qui donne le moyen de réaliser des essais absolument pratiques. Avec elle, on détermine non seulement le coefficient de frottement mais aussi l'élévation de température et la consommation de l'huile en fonction du temps pendant lequel elle fonctionne.

Son succès a été si manifeste qu'il a fallu en commander un deuxième exemplaire pour suffire aux essais qui se présentent (1) ;

(1) Voir pour la description de cette machine le n° 6 du *Bulletin du Laboratoire d'Essais du Conservatoire*.

2° Une machine Kappf, constituée par une cuve dans laquelle tourne une tige commandée par un moteur électrique; la tige est chargée d'un poids connu et tourne à une vitesse donnée. On mesure seulement le nombre de watts absorbés par le moteur pour entretenir le mouvement. Cette machine ne donne qu'une indication sur le frottement; elle a une certaine valeur mais ne permet pas de déterminer le coefficient de frottement comme la précédente. Son intérêt tient à ce qu'on peut chauffer l'huile jusqu'à 200°, ce qui est impossible avec la machine Martens.

Nous avons étudié une nouvelle machine qui permettra de faire cette mesure du coefficient de frottement à toutes les températures, à toutes les pressions et à toutes les vitesses et sera combinée pour vérifier les propriétés de frottement des huiles en mélange avec la vapeur.

Ces questions du frottement sont de première importance pour les industriels et font l'objet de tous nos soins. Nous en rendons compte plus loin.

MÉCANISMES EN PRÉVISION

La section des Métaux du Laboratoire d'Essais du Conservatoire National des Arts et Métiers ne peut se désintéresser des progrès qui s'accomplissent journellement dans les méthodes d'essais et qui ont pour but la mise en évidence de propriétés nouvelles des métaux; actuellement on se rend compte de plus en plus que la façon dont se comportent les métaux sous l'action des sollicitations répétées est différente de celle dont ils se conduisent devant les sollicitations lentes ou vives; on a fait d'assez nombreux travaux sur cette question, à l'étranger surtout, et ces travaux ont remis en honneur les célèbres expériences de Wöhler et de Bauschinger. Nous avons pensé qu'une machine apte à effectuer des essais au choc répétés pouvait présenter un grand intérêt pour l'étude de phénomènes rentrant dans ce domaine et l'acquisition de cette machine est prévue.

De même il paraît nécessaire de plus en plus de s'occuper du travail des outils dans les machines qui les emploient, des efforts de coupe, du meilleur acier à employer, etc.; la section prévoit l'acquisition ultérieure d'un tour de précision, robuste, muni d'appareils de mesure perfectionnés qui permettra d'étudier l'une ou l'autre des faces de la question.

En somme, l'outillage précédemment décrit donne le moyen de faire un grand nombre d'essais variés et nous allons examiner maintenant quelques-uns des résultats obtenus grâce à lui.

B. — Essais courants les plus importants effectués par la Section des Métaux.

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, l'expérimentation des métaux peut porter soit sur des témoins prélevés en eux, répondant à des conditions de forme et de dimensions définies et conformes aux prescriptions que les Sociétés techniques ont fixées, soit sur des pièces ouvrées dont les essais sont alors bien plus arbitraires.

On peut, d'autre part, avoir à prélever des barrettes sur des pièces non encore usagées ou intactes, sur des pièces ayant déjà servi et en apparence sans détérioration, enfin sur des pièces retirées du service parce que détériorées. C'est à ces différents genres d'essais que la grande majorité des occupations de la Section des Métaux est consacrée. Nous étudierons autant que possible les résultats obtenus en classant ces essais d'après les sortes de matériaux expérimentés; nous réserverons des paragraphes spéciaux aux essais qui ont une portée spéciale d'enseignement.

I. — MÉTAUX FERREUX.

a) *Aciers ordinaires.* — Si nous nous préoccupons d'abord de l'acier brut de coulée, nous aurons à signaler, comme aciers courants, des métaux réellement remarquables qui montrent bien les réels progrès qu'on a faits dans la fabrication des moulages d'acier. Nous avons eu l'occasion d'essayer des aciers obtenus au creuset qui donnaient les résultats suivants :

Traction. — Limite élastique : 20 à 22 kg par mm²; charge de rupture 39 à 41 kg; allongement 23 0/0; striction $\frac{S-s}{S} = 42$ 0/0.

Ces aciers tenaient 0,15 de carbone et étaient très purs en phosphore et en soufre; au choc, sur deux appuis distants de 160 mm et, avec un mouton de 10 kg, ils supportaient plus de 250 kgm pour rompre (barreau de 20 mm $\times$ 20 mm).

Nous citerons les résultats à la traction suivants obtenus avec des aciers au creuset moulés et recuits :

Charge de rupture par millimètre carré.	Allongement 0/0.
38 kg	29 0/0
43 kg	25 0/0
50 kg	20 0/0

Ce sont là de très intéressantes valeurs, exactement du même ordre que celles obtenues avec des aciers forgés de bonne qualité. Nous rappellerons l'influence capitale qu'un recuit bien fait exerce sur les aciers moulés ; la généralisation de l'emploi de ce métal n'est guère entravée que par l'oubli ou la méconnaissance de ce point. On arrive aujourd'hui à faire des moulages purs même avec de petites épaisseurs ; il faut en uniformiser la structure par un recuit adéquat et ne pas perdre de vue que les recuits lents sont funestes et que, plus le métal est doux, plus on peut et on doit le chauffer pour en détruire la cristallisation grossière parfois due au moulage. On arrive aujourd'hui à faire au creuset des aciers doux comme du fer de Suède et donnant de 30 à 31 kg de charge de rupture et 20 0/0 d'allongement.

Au point de vue des aciers laminés ou forgés courants, nous n'avons rien à dire ; depuis longtemps on en fabrique d'excellents ; nous citerons cependant quelques résultats vraiment remarquables qu'on peut obtenir avec ces aciers quand ils sont purs et bien traités.

Des barrettes prises dans des lames de scies de 8 mm d'épaisseur ont donné 150 à 200 kg de rupture, 8 0/0 à 4 0/0 d'allongement et 15 0/0 à 7 0/0 de striction ; elles étaient trempées et revenues au jaune.

D'autres aciers traités convenablement et essayés à la compression sous forme de petits cylindres de 10 mm de diamètre et 15 mm de hauteur ont donné des résistances à la rupture de 170 à 230 kg avec des limites élastiques de 80 à 100 kg par millimètre carré avec des affaissements à la rupture de 45 à 50 0/0.

Nous pourrions enfin parler de quelques essais d'aciers obtenus au four électrique.

On réalise avec ce four des aciers de choix depuis la nuance extra-douce jusqu'à l'extra-dure. Ainsi on peut avoir des aciers donnant 38 kg de charge de rupture, 35 0/0 d'allongement, 30 kg de limite élastique, 80 0/0 de striction et des aciers de

70 kg de charge de rupture, 16 0/0 d'allongement, 43 kg de limite élastique, 50 0/0 de striction. Nous ne parlons que d'aciers au carbone seul. Ce sont là d'excellents résultats. Généralement les aciers électriques ont une plus grande finesse structurale que les aciers obtenus avec les autres procédés.

Aciers spéciaux. — Nous avons eu l'occasion d'essayer de nombreux aciers spéciaux et nous citerons quelques-uns de leurs résultats.

Un acier mangano-siliceux pour engrenages trempé à 900° et revenu au bois fumant a donné :

$E=196$ à 209 kg, $L=197$ à 215 kg, $A=0,0$ à $3,5$ 0/0, $S=0,0$ à $0,15$.

Cet acier si résistant se lime sans trop de difficultés.

Un acier au manganèse à 13 0/0, d'Hadfield, a donné :

$E=50$ kg, $R=85$ kg, $A=25$ 0/0, $S=26$ 0/0.

On conçoit qu'un acier qui a tant d'allongement pour une si forte charge de rupture soit difficile à travailler ; en fait, on ne l'ajuste qu'avec des meules et on en fait emploi partout où l'usure est à éviter : de plus en plus dans les voies pour tramways et aussi comme doublage de coffre-forts. La forme du diagramme de traction de cet acier est totalement différente de celle d'un acier ordinaire à 80 kg ; elle n'a pas de maximum suivi d'une chute ; elle est analogue à celle d'un laiton à 40 0/0 de zinc ; la chose s'explique si l'on réfléchit que cet acier est constitué pour une solution solide en cristaux comme le laiton en question. Citons un acier trempé à 850°, non revenu, qui a donné :

$E=116$ à 118 kg, $R=125$ kg, $A=8$ à 10 0/0, $S=60$ 0/0.

Cet acier contient peu de carbone et une faible teneur en chrome, nickel et vanadium. C'est là un des exemples les plus intéressants du bouleversement favorable apporté dans les propriétés de l'acier ordinaire par l'adjonction de faibles teneurs en éléments actifs tels que le nickel, le chrome et surtout le vanadium dont l'action est vraiment surprenante.

On connaît généralement bien l'action du nickel, nous n'insisterons pas sur ce sujet, mais, agissant en même temps que le chrome, il confère à l'acier des propriétés bien faites pour attirer

l'attention. Voici, en effet, un acier au nickel-chrome à 2 0/0 de nickel et 1 0/0 de chrome qui, trempé à 850° à l'eau et revenu du rouge naissant, a donné à la traction :

E = 92 kg, R = 100 kg, A = 9 0/0 à 10,0, S = 60 0/0.

Un autre moins carburé a donné.

Après trempe sans revenu :

E = 154 kg, R = 165 kg, A = 7 0/0, S = 13 0/0.

Après trempe et revenu :

E = 135 kg, R = 140 kg, A = 6 0/0, S = 28 0/0.

Après trempe à l'huile et revenu :

E = 52 kg, R = 74 kg, A = 15 0/0, S = 54 0/0.

Dans le cas de ce dernier acier, la forme des diagrammes accuse très nettement le mode de traitement que le métal a subi ; nous insistons encore pour que l'on se serve plus souvent de ces diagrammes lorsqu'on en a la possibilité.

La supériorité de ces aciers au nickel et au chrome se manifeste bien dans les essais de traction dynamique dont il a été question plus haut.

Dans une série d'essais exécutés avec de l'acier à 3 0/0 de nickel et 1 0/0 de chrome pour essieux d'automobiles, on a obtenu les résultats suivants, toutes les barrettes dans chaque essai étant identiques :

	Travail de rupture par cm ² de métal déformé.	Allonge- ment 0/0 à la rupture.	Striction.
	Kgm.	—	0/0.
Acier nickel-chrome trempé à l'huile à 800°, revenu à 500°	30	20	66
Acier nickel-chrome naturel	22	24	57
— recuit à 800°	17	14	48

Un autre acier contenant 2 0/0 de nickel seulement a donné :

Trempé à 800°	13 à 14	10 à 6,0	26 à 53
Naturel	20,0	35	71
Recuit à 800°	19	36,0	70

Enfin un acier doux ordinaire choisi comme base de comparaison a donné :

Trempe à 900°	14,0	12	71
— à 800°	19,0	20	71
Recuit à 800°	14,0	24	67

On peut citer comme acier spécial remarquable l'acier tenant 0,1 de carbone et 16 0/0 de nickel qui, trempé, donne :

$$E = 118 \text{ kg}, \quad R = 150 \text{ kg}, \quad A = 5,0 \text{ 0/0}.$$

Cet acier est dur à usiner et c'est ce qui en retarde la diffusion. Nous ne dirons rien des aciers spéciaux employés comme outils, c'est sous cette forme qu'il vaut le mieux les essayer et nous ne possédons pas de tour suffisamment robuste pour ces études. Cependant M. Robin a montré récemment devant la Société qu'on pouvait assez bien se faire une opinion sur la qualité primordiale de ces métaux : leur dureté à chaud, grâce à des essais par la méthode de Brinell.

Nous signalerons enfin quelques essais effectués sur un même métal contenant 2,5 0/0 de nickel destiné à des pièces de forge et traité comme suit : 1° trempé à l'huile ; 2° trempé à l'eau et revenu à 500° ; 3° naturel, brut de forge.

Essayé par traction statique, ce métal a donné :

	E.	R.	A.	Stric- tion.	Travail par cm ² de métal déformé.
	—	—	—	—	—
	Kg.	Kg.	0/0.	0/0.	Kgm.
Naturel	52	97	8,0	13	16
Trempe à l'huile	95,0	100	10	52	15,0
— à l'eau et revenu	50	76	16	66	18,0

A la traction par choc, on a obtenu les résultats suivants :

	Travail par cm ² de métal déformé.	Allon- gement.	Striction.
	—	—	—
	Kgm.	0/0.	0/0.
Naturel	11	12	16
Trempe à l'huile	10	10	46
— à l'eau et revenu	11	18	70

Les essais de choc sur barreaux entaillés ont donné :

Métal naturel	9,5 kgm	par cm ² de section à fond d'entaille.		
Trempé à l'huile.	4,5 kgm	—	—	—
— à l'eau et revenu.	12 kgm	—	—	—

Enfin, les essais de dureté par la méthode de Brinell ont accusé les chiffres suivants :

Métal naturel	280	environ	comme	coefficient de dureté.
Trempé à l'huile.	300	—	—	—
— à l'eau et revenu.	220	—	—	—

Nous avons choisi cet exemple pour donner une idée des transformations des propriétés mécaniques subies par un même acier avec des traitements divers. On remarquera que la trempe à l'huile confère au métal une dureté bien plus grande qu'une trempe à l'eau suivie d'un revenu; la fragilité est également plus grande dans le cas de cette trempe à l'huile. On ne saurait donc assimiler les deux modes de trempe comme on a tendance à le faire parfois quand on veut avoir une trempe douce. D'ailleurs le microscope révèle nettement la différence de structure dans les deux cas. Trempé à l'huile, l'acier présente de la martensite; trempé à l'eau et revenu, il montre de la sorbite.

Fils d'acier. — Les fils d'acier les plus communément employés ne contiennent généralement pas d'autres éléments que ceux de l'acier ordinaire; on en fabrique cependant en aciers spéciaux. Ce qu'on demande surtout à un fil, c'est une élasticité élevée et pas de fragilité. On sait que cette propriété est réalisée non pas en partant d'un acier fortement carburé et originairement dur qui, transformé en fil, serait très cassant, mais en partant d'un acier doux qu'on écrouit jusqu'à la limite la plus élevée possible. L'écrouissage se fait naturellement à froid dans des filières. Pour donner une idée de l'influence de la déformation, même superficielle, due à un passage à la filière, nous citerons les essais suivants exécutés sur des barres de diamètres différents réduites de 1 à 2 mm de diamètre seulement, c'est-à-dire bien moins écrouies que les fils ordinaires :

Barres de 15 mm de diamètre.	E.	R.	A.	S.
—	Kg.	Kg.	0/0.	0/0.
Non étirées	30	41	34	70
Réduites de 1 mm sur le diamètre.	45	58	12	55
— de 2 mm —	62	65	10	50
Étirées puis recuites.	25	40	18	69

Barres de 20 mm de diamètre.

Non étirées	27	38	35	70
Réduites de 1 mm sur le diamètre.	45	57	40	49
— de 2 mm —	55	58	9	45
Étirées puis recuites	25	38	31	70

Barres de 23 mm de diamètre.

Non étirées	23	36	38	70
Réduites de 1 mm sur le diamètre.	41	48	42	57
— de 2 mm —	50	53	8	44
Étirées puis recuites	21	36	33	70

Barres de 35 mm de diamètre.

Non étirées	25	39	32	62
Réduites de 1 mm sur le diamètre.	45	50	41	51
— de 2 mm —	50	54	42	49
Étirées puis recuites	30	42	29	59

Il est facile de voir par ces résultats que l'augmentation de résistance par l'écrouissage croît avec la diminution du diamètre. La perte d'allongement varie peu avec ce dernier, c'est là un fait favorable à l'élaboration de fils fins. Tout le monde sait qu'un écrouissage trop poussé doit être corrigé par un recuit qui laisse au fil les dimensions qu'il a, mais redonne à la substance du métal la plasticité nécessaire à la continuation de l'écrouissage.

Il n'est pas rare aujourd'hui de trouver des fils d'acier à un prix raisonnable qui donnent plus de 200 kg de résistance par millimètre carré et ont encore un allongement de quelques pour cents.

Pour leur recette, on soumet les fils à des essais de traction, de flexions alternées, de torsions. Nous ne dirons rien des essais de traction, qui doivent cependant être effectués avec assez de soins pour être probants ; on y parvient en serrant les fils à rompre dans des coins striés assez longs pour que la sollicitation de compression produite ne soit pas exagérée et ne risque pas de provoquer des ruptures prématurées. En ce qui concerne les essais de flexions répétées, on opère généralement de la façon suivante. On serre le fil à essayer entre deux mâchoires munies d'un arrondi de rayon donné et on le rabat de 90° de part et d'autre de la verticale sur lesdites mâchoires. La cadence des flexions a de l'importance, mais le rayon des mordaches en a une bien plus grande. Voici quelques essais qui le démontreront.

Nombre de flexions alternatives supportées par différents fils d'acier de 2,5 mm de diamètre fléchis sur des mâchoires de rayons différents.

RÉSISTANCE des fils à la traction en kilogrammes par millim. c.	MACHOIRES de 10 mm de rayon	MACHOIRES de 6 mm de rayon	MACHOIRES de 5 mm de rayon	MACHOIRES de 4 mm de rayon	OBSERVATIONS
175	21	12	7	6	Ces chiffres sont des moyennes.
167	28,5	10,5	7,5	6,5	
205	26	9,5	9,5	7	
180	36,5	11	7,5	7	
170	36	11	9	5,5	
170	34	11	8,5	6	

Ainsi qu'on peut en juger par ces résultats, les nombres des flexions pour rompre un même fil varient à peu près comme le carré du rayon des mâchoires employées. On ne saurait trop s'élever contre l'arbitraire qui préside actuellement dans le choix du rayon des mordaches servant à ces essais de flexions répétées et insister sur la nécessité d'établir les lois de ces sortes d'essais par ailleurs fort démonstratifs.

En ce qui concerne les essais de torsion, nous ne saurions assez les préconiser ; ce sont d'excellents moyens de voir la plus ou moins grande homogénéité des fils. En effet, un fil soumis à une torsion progressive et qui serait différemment écroui en divers points de sa longueur présente la particularité très nette de ne pas se tordre de la même quantité par unité de longueur et ce fait est extrêmement visible sur le fil en voie de déformation.

Le nombre de torsions amenant la rupture des fils est une caractéristique plus précise que celle résultant de la mesure de l'allongement de ces fils à la traction, allongement qui est généralement faible, tandis que, sur une longueur de 100 mm, par exemple, on peut compter parfois sur cinq à six rotations complètes pour les fils, même les plus durs.

Bien entendu, si l'on peut mesurer le moment du couple de torsion correspondant à la limite d'élasticité du métal ou à sa rupture, on obtient deux facteurs très importants, en relations d'ailleurs assez étroites avec les caractéristiques correspondantes de la traction.

Nous voudrions encore attirer l'attention sur le fait suivant qui se rapporte aux fils d'acier pour câbles. On prescrit généralement que ces fils n'aient pas une résistance à la traction inférieure à une valeur donnée ni supérieure à une autre valeur. On a pour but, en opérant ainsi, d'une part, d'assurer au câble constitué par ces fils une résistance suffisante; d'autre part, d'éviter qu'il ne soit trop cassant. On fixe alors des limites parfois trop rapprochées pour la résistance des fils du câble; il est bon de se demander si l'on ne va pas un peu loin dans cette voie. Le déficit de résistance ne peut-il pas, en toute justice, être compensé par une augmentation d'allongement et réciproquement. Pour répondre à cette question, il faut se servir d'un criterium s'inspirant des motifs qui ont fait établir les prescriptions rigoureuses dont il est question plus haut. Il faut voir si les fils les plus tenaces à la traction statique sont plus ou moins cassants que les autres à la traction par choc. Voici quelques résultats d'essais effectués sur des fils de résistance à la traction croissante qui répondent à cette préoccupation :

Fils de 145 kg de résistance à la traction statique, rompus par traction dynamique, ont demandé un travail de 6,5 kgm par centimètre cube;

Fils de 175 kg : travail de rupture par centimètre cube = 7 kgm;

Fils de 185 kg : — — — = 10 kgm.

Ces résultats indiquent assez que parfois la prudence n'est pas en concordance avec la sûreté; c'est le fil de ténacité maxima qui s'est montré le plus apte à subir des chocs; on pouvait *a priori* penser autrement: d'où la nécessité de faire des essais et non pas des hypothèses.

Câbles d'acier. — Après ce que nous venons de dire à propos des fils d'acier, nous n'insisterons pas au sujet des câbles composés par ces fils. La Section des Métaux a fait un très grand nombre d'essais sur des câbles ronds ou plats de toutes dimensions et de toutes compositions; l'aptitude à la déformabilité des câbles d'acier est généralement faible; bien rarement on atteint un allongement de 5 0/0 à la rupture avec eux; les lois réunissant les efforts à ces allongements sont mal connues; on ignore ce qu'est la limite d'élasticité d'un câble envisagé en tant que pièce. En France nous ne sachions pas qu'on ait fait des recherches dans ce sens, bien que le sujet en vaille la peine. En Alle-

magne, on trouve sur cette question les travaux de Hraback et de Divis, bien peu connus de nos Ingénieurs.

Nous nous bornerons à signaler, pour les câbles que nous essayons, un mode d'amarrage qui nous réussit bien. Pour que chaque fil du câble participe à la traction, on décable les extrémités des témoins à essayer, on les brosse, on les déroche, on les étame et on les englobe dans un culot d'un alliage contenant 86 0/0 de plomb, 7 0/0 d'étain et 7 0/0 d'antimoine. Cet alliage fond à une température telle que l'érouissage de fabrication des fils ne peut être détruit. On moule l'alliage sous forme d'un cône et on exerce la traction par ce culot. 95 fois sur 100 la rupture du câble se fait hors des amarrages et aucun fil ne glisse dans le culot, toutes conditions indispensables pour une interprétation rationnelle des résultats obtenus.

Tôles d'acier. — On essaie ordinairement les tôles d'acier à la traction et au pliage, soit à l'état naturel, soit à l'état recuit, soit à l'état trempé. L'essai de pliage est expéditif mais bien superflu quand on procède en même temps à l'essai de traction. Il n'y a rien à dire d'intéressant au sujet des essais de traction statiques de ces tôles sinon que, pour celles ayant subi un fort érouissage de fabrication, nous avons constaté parfois des différences très notables d'allongement suivant le sens du laminage ou le travers. C'est le cas des tôles minces. Les écarts sont bien moindres avec les tôles épaisses. Depuis quelques années on a proposé de déterminer la résistance des tôles aux sollicitations dynamiques, on a préconisé l'emploi des barreaux entaillés. Ce genre de barreaux n'est pas sans intérêt et donne une idée assez juste de l'aptitude de la tôle à la propagation des fentes, c'est-à-dire en qualifie la fissilité, mais il serait peu susceptible de servir à la recette de ces tôles car il n'est pas rare de trouver pour une même pièce des travaux de rupture variant par exemple de 4 à 18 kgm par centimètre carré de la section du barreau entaillé. Il est alors difficile de se faire une opinion sur la valeur de la tôle essayée. Faut-il prendre 4, faut-il adopter 18 kgm ? On ne sait. Ce fait s'explique bien par l'hétérogénéité structurale parfois fort troublante des aciers doux. Suivant que l'entaille tombe dans des parties ferritiques ou perlitiques plus ou moins accentuées on a des résultats très différents. Le phénomène est beaucoup moins accusé dans les aciers plus carburés, à carbure plus abondant et par suite plus uniformément réparti.

Cette constatation de l'hétérogénéité microscopique des aciers doux ne doit pas être perdue de vue, nous l'avons vérifiée fréquemment et elle permet d'expliquer bien des défaillances locales du métal. Un recuit bien fait régularise la structure, une trempe également, mais cette dernière est la plupart du temps impraticable.

Nous avons, à diverses reprises, examiné comment le métal des tôles d'acier se comporte au choc ; pour cela nous avons pris des barrettes de traction qu'on a rompues avec l'appareil précédemment décrit. Dans la grande majorité des cas, on n'a pas trouvé de différences sensibles entre les travaux dépensés pour la rupture dans la traction statique et pour ceux de la traction dynamique ; cependant il y a des exceptions et parfois on trouve des tôles qui se déforment beaucoup dans le premier cas alors qu'elles cassent sans allongement dans le second. Ce sont ces exceptions qu'il faut craindre et c'est pourquoi l'essai au choc des tôles d'acier n'est pas une superfétation.

Disons en passant qu'avec les petites barrettes de traction que nous recommandons, et qui ont une section de $7,1 \text{ mm} \times 7,1 \text{ mm}$ soit 50 mm^2 et une longueur prismatique de 60 mm, on doit facilement, avec une bonne tôle d'acier doux, obtenir de 12 à 15 kgm par centimètre cube de métal soumis à la déformation.

Nous aurons l'occasion de parler plus loin des détériorations des tôles d'acier.

Soudures d'aciers. — Il est tout naturel de dire quelques mots des soudures d'aciers après avoir examiné les tôles d'aciers. C'est, en effet, sur les tôles qu'on pratique le plus fréquemment ces soudures. La section des Métaux a eu maintes fois à les examiner. Elle a procédé avec elles surtout à des essais de traction et a porté ses investigations sur des soudures réalisées avec des chalumeaux variés, à acétylène, à oxygène, à gaz. On peut dire que tous ces chalumeaux ont leurs avantages et leurs inconvénients et que le travail exécuté avec eux peut être plus ou moins bon suivant l'opérateur.

Il est bien rare que la soudure présente la même résistance et le même allongement que le métal dans lequel elle est pratiquée. Cependant il faut reconnaître qu'on est parvenu à faire de mieux en mieux dans ce sens. Il n'est pas impossible de trouver aujourd'hui des soudures autogènes qui donnent, dans un acier doux à 42 kg et 30 0/0 d'allongement, une résistance

de 38 à 40 kg et un allongement de 20 à 25 0/0. On ne parvient pas à ces résultats avec des tôles épaisses ; on les obtient surtout avec des tôles de 1 à 5 mm, et il faut pour cela avoir grand soin de faire subir à la partie soudée un recuit rapide à 900° par exemple qui détruit les gros cristaux provoqués par la surchauffe à laquelle les deux parties à assembler ont été soumises pendant le soudage (voir *fig. 1, Pl. 189*).

Toute une série de soins nous paraissent utiles dans cette opération, qui, bien conduite, amène à des résultats encourageants. On applique la soudure autogène à un grand nombre de préparations ou de réparations de pièces ; on l'a proposée pour les chaudières ; on va peut-être un peu vite, mais le problème n'est pas insoluble. Nous nous permettrons simplement de dire que de graves explosions de réservoirs à fluide comprimé ont eu lieu du fait de soudures défectueuses de ce genre. On peut constater, par un essai de traction statique ou dynamique, que, dans ce cas, le métal de la soudure a une ductilité parfois réduite à rien et il est nécessaire de conclure que la prudence est de rigueur dans l'emploi de ces soudures.

Il faut aussi signaler que tous les aciers ne se comportent pas également bien à la soudure autogène. On connaît mal l'influence des éléments constitutants de ces aciers ; il y aurait à ce point de vue toute une série de recherches à entreprendre qui, à notre avis, ont la plus grande importance pour l'avenir de cette industrie du soudage.

Tubes d'acier. — Notre section a eu à maintes reprises à essayer des tubes d'acier de différentes façons. Les essais auxquels on peut soumettre ces tubes sont des essais de compression axiale provoquant leur flambage, des essais de flexion transversale, statiques ou dynamiques, des essais d'éclatement, etc.

Les essais de flambage effectués ont porté, dans une première série, sur des tubes de chaudière de locomotives (tubes Serve à ailettes intérieures) ; on a comparé ces tubes à des tubes de laiton.

La longueur d'essai était de 3 m environ, le diamètre extérieur des tubes en laiton était de 45 mm, celui des tubes Serve en acier de 70 mm. Les premiers flambaient sous une charge de 1 400 à 1 700 kg, les seconds sous une charge de 8 000 à 8 800 kg ; la flexibilité transversale des premiers était de trois fois supérieure à celle des seconds.

On peut se rendre compte de l'influence de la longueur soumise au flambage sur la résistance d'un même tube d'acier de 50 mm de diamètre et 2,5 mm d'épaisseur par les résultats suivants :

Longueur soumise à la compression	= 3 m.	Charge de flambage	= 2 300 kg.
—	= 2,50 m.	—	= 4 300 kg.
—	= 1 m.	—	= 10 360 kg.

Ces résultats ne suivent pas les lois du flambage indiquées par Euler, Rankine, etc.

Au point de vue des essais de flexion nous signalerons l'intérêt qu'il y a à protéger au moyen de supports appropriés, les parties des tubes reposant sur les appuis ou placées sous le couteau de flexion si l'on veut éviter une déformation locale qui troublerait la mesure des flèches produites par des efforts croissants. Nous citerons l'influence favorable d'éléments tels que le nickel et le vanadium sur la résistance des tubes à la flexion. On peut facilement obtenir ainsi des résistances doubles de celles données par un acier ordinaire.

Le métal des tubes en acier courant contient généralement 0,12 à 0,15 de carbone et est pur en autres éléments ; brut de fabrication il donne environ 50 kg de charge de rupture et 20 à 25 0/0 d'allongement ; recuit, sa résistance n'est guère supérieure à 42 kg. On est obligé de partir d'acier un peu doux pour élaborer ces tubes, mais si l'on a soin de prendre un acier avec un peu de nickel et de vanadium, on peut facilement avoir des tubes qui donnent, naturels, une résistance à la traction de 100 kg. par millimètre carré, et un allongement de 7 à 8 0/0 ; le même métal trempé à 900° dans l'eau donne 110 à 120 kg et un allongement de 7 à 8 0/0. Ce sont là des résultats qui méritent la plus grande attention et qui doivent engager les fabricants de tubes à ne pas se borner à leurs fabrications habituelles au moyen de l'acier ordinaire. L'utilisateur a souvent grand intérêt à avoir des tubes extra-résistants pour diminuer le poids des organes dans lesquels ces tubes jouent un rôle. C'est le cas par exemple pour les fabricants de ces magnifiques ballons qui doivent avoir pour les tubes employés dans leur nacelle la plus haute résistance pour le minimum de poids ; c'est aussi le cas pour les bicyclettes, etc.

Nous sommes convaincu qu'on n'a pas tiré du tube considéré

en tant que pièce mécanique tous les avantages qui peuvent en découler.

Si l'on envisage le tube comme un conduit pour le passage des fluides, d'autres genres d'essais doivent lui être appliqués. On le fera par exemple éclater; pour cela il existe un procédé, qui est employé à la section des Métaux et grâce auquel on parvient, sans pompe, à rompre les tubes les plus résistants. Voici comment on procède : on coupe un tronçon de 40 cm par exemple, dans le tube à essayer; on obture les deux extrémités de ce tronçon au moyen de deux pistons en acier pénétrant à frottement doux; derrière chacun de ces pistons on place un cuir embouti et on remplit d'eau l'espace compris entre les deux cuirs. On porte le tout entre les deux plateaux d'une machine d'essai et on presse sur les deux pistons jusqu'à l'éclatement du tube. Si P est la charge qui produit cet éclatement et S la section du tube; la pression unitaire d'éclatement est évidemment $\frac{P}{S}$. On parvient de cette façon à produire des pressions unitaires dépassant 2 000 kg par centimètre carré. Avec ce dispositif nous avons rompu de nombreux tuyaux de plomb, de cuivre, d'aluminium, etc., dont il sera parlé plus loin.

Un autre genre d'essai à pratiquer sur les tubes pour conduite de vapeur est celui que nous avons été appelé à faire sur de gros collecteurs portant des brides emmanchées sur leurs extrémités au moyen de rainures mâles à profondeur décroissante serties soigneusement sur des rainures femelles qu'on avait facilement dégagées dans ces tuyaux. On a pu, avec cette disposition, faire supporter à la bride un effort presque égal à celui qui aurait rompu les tubes par traction dans une partie intacte. Cet essai d'arrachement des brides n'est pas sans intérêt.

Billes d'acier. — La section a fait, à diverses reprises, des essais de rupture de billes d'acier. Pour de petites billes, on a procédé d'après la méthode préconisée par le Professeur Stribeck : on dispose trois billes de même diamètre l'une au-dessus de l'autre et on les presse jusqu'à rupture. Le contact ne se fait ainsi qu'en deux points pour la bille médiane. Pour les billes ayant plus de 10 mm de diamètre nous opérons avec deux pièces seulement. Ces essais sont à préconiser.

On parvient avec eux à bien différencier les qualités d'aciers

employés. Voici quelques résultats d'essais effectués par nos soins :

DIAMÈTRES DES BILLES	CHARGES DE RUPTURE TOTALES			
	1 ^{er} GROUPE de billes	2 ^e GROUPE de billes	3 ^e GROUPE de billes	
mm	kg	kg	kg	
3,95	1 050	800	1 150	} Essayées avec l'appareil Stribeck.
4,99	1 500	1 620	1 450	
5,99	1 450	1 740	1 740	
6,99	3 450	1 470	2 250	
7,93	1 300 ?	3 220	3 100	
9,99	5 000	4 300	4 400	
13,00	Valeur moyenne.		8 500	} Essayées par deux.
14,5	—	—	12 000	
16,0	—	—	15 000	
19,0	—	—	19 500	

Ainsi qu'on peut en juger par ce petit tableau, il y a d'assez grandes variations dans les résultats de la rupture de mêmes billes; vraisemblablement, la façon dont ces billes ont pris la trempe joue un rôle important et on ne réalise pas, à ce point de vue, une bien grande homogénéité. Remarquons enfin que la résistance à la rupture varie à peu près comme le carré du diamètre.

Aciers cimentés. — Les opérations de la cémentation de l'acier sont actuellement bien connues et leurs effets de mieux en mieux compris. Nous avons eu l'occasion de faire quelques essais ayant pour but de voir comment se comportait l'âme de barrettes cimentées suivant la façon dont on avait conduit le traitement de ces barrettes.

On se rendra compte de ce traitement en jetant un coup d'œil sur le tableau ci-après; il s'agit, dans ce tableau, d'essais de traction de barrettes ayant les mêmes dimensions géométriques et constituées par un même acier qui a subi ou non les divers traitements.

TRAITEMENT DU MÉTAL	LIMITE APPARENTE d'élasticité par mm ²	CHARGE DE RUPTURE par mm ²	ALLONGEMENT 0/0 à la rupture	STRICTION $\frac{S-s}{S}$
	kg	kg		
I. — Naturel	35,6	46,8	19,8	0,67
II. — Recuit en terre et trempé.	47,1	53,2	16,8	0,57
III. — Recuit dans le charbon de cornue et trempé	40,5	53,7	13,8	0,56
IV. — Cémenté sur 1 mm d'épais- seur et non trempé	35,6	56,0	7,6	0,07
V. — Cémenté à cœur et non trempé.	51,9	51,9	0,0	0,0
VI. — Recouvert pendant la cé- mentation d'une couche de cuivre anticément.	37,9	37,0	0,0	0,0
VII. — Cémenté sur 1 mm et trempé.	57,3	57,3	0,0	0,0
VIII. — Cémenté sur 1 mm, puis écrouté sur cette épais- seur et trempé	56,6	66,2	12,5	0,27
IX. — Non cémenté et trempé .	49,6	54,3	13,8	0,64

On peut voir, par ces résultats, que la cémentation non suivie de trempé durcit déjà sérieusement le métal, par apport de cémentite évidemment; mais l'excès de carburation fait perdre toute ductilité au métal.

L'âme des barrettes essayée seule, après trempé, est plus tenace que le métal naturel trempé, ce qui paraît prouver que l'action du ciment s'exerce bien au delà de la couche de cémentation. S'il s'agit d'acier doux, on constate, en effet, que la ferrite du cœur des pièces cémentées est dans un état de division fort curieux et très différent de l'état cristallin de la ferrite ordinaire. Les cristaux élémentaires de cette ferrite d'acier cémenté paraissent plus développés dans la pâte des polyèdres; vraisemblablement les gaz produits pendant la cémentation ont pu y créer ce désordre, qu'une trempé appropriée corrige fort heureusement.

Il n'existe guère de méthodes d'essais quantitatives pour l'appréciation des aciers cémentés. Le microscope est un excellent outil pour la détermination de la couche carburée, mais il ne donne que des résultats qualitatifs; les essais ordinaires de trac-

tion conviennent mal, car on a affaire à un métal hétérogène, et lorsque la couche externe due à la cémentation est rompue la première par suite de son manque de ductilité, il s'amorce des fissures qui provoquent la rupture prématurée de l'âme des barrettes. C'est même là un moyen de voir comment le métal sous-jacent peut supporter la propagation des fissures.

Les essais de pliage, tout en ne donnant que des indications, ont l'avantage de montrer si la couche cimentée a de l'adhérence sur le métal qu'elle recouvre (voir *fig. 2, Pl. 189*). On doit, d'autre part, se préoccuper de voir si cette couche est dure après trempe; la méthode de Brinell peut rendre des services à ce point de vue si la couche de cémentation est assez épaisse, nous l'avons souvent employée avec fruit, mais elle échoue quand cette couche est mince, quand on a affaire par exemple à une pellicule telle que celle résultant d'une cémentation rapide au prussiate; il faut, dans ce cas, se servir soit du scléromètre, soit de la méthode de rebondissement de la bille déjà signalée, soit de la méthode procédant par usure. Nous avons eu toute satisfaction de la méthode du rebondissement dans une cémentation rapide sur du fer et de l'acier doux : sur la surface cimentée, la bille accusait un rebondissement de 50 0/0 supérieur à celui présenté par la surface naturelle du métal et cependant l'épaisseur de la couche cimentée ne dépassait pas un dixième de millimètre d'épaisseur (voir *fig. 3, Pl. 189*).

Rails et éclisses. — Un grand nombre d'essais ont été effectués par la section sur des rails de tramways ou de chemins de fer; nous avons eu ainsi l'occasion de voir comment ces pièces se détérioraient par l'usage. Les effets de l'écrouissage parfois très intenses sur les surfaces de roulement des rails sont, qu'on ne s'y trompe pas, plus à redouter qu'il ne semble et permettent d'expliquer des ruptures en service que la bonne qualité primitive du métal paraissait devoir à jamais proscrire. Quelques essais de flexion statique ou dynamique sur des rails ayant un long service seraient à préconiser pour juger de la variation de fragilité que ces rails ont pu subir par un trafic intensif comme celui de certaines de nos voies. Quelques empreintes à la bille donneraient une idée nette de l'écrouissage du champignon de roulement. On ferait d'intéressantes constatations en opérant ainsi, nous en avons la conviction basée sur notre expérience.

Nous avons, d'autre part, essayé à la flexion des coupons de rails assemblés à la soudure autogène, et nous devons déclarer

que presque jamais nous n'avons pu constater une soudure réussie.

Des essais nombreux ont été effectués sur un système d'éclissage sans boulons qui comprenait une semelle en forme de C contenant deux mordaches coniques, lesquelles serraient le rail latéralement. On a comparé les efforts nécessaires pour faire glisser le rail dans ce système d'éclisses et dans les éclisses ordinaires à boulons ; on a constaté que c'est sous 20 à 25 t qu'on produisait le glissement dans le premier cas et sous 12 à 15 t dans le second cas.

Une éclisse à boulons, fléchie sur deux appuis distants de 1 m, commençait à se déformer sous 15 000 kg, une éclisse sans boulons sous 17 à 25 t seulement.

Essais d'aciers à outils et d'outils. — La section possède tous les mécanismes aptes à qualifier les propriétés intrinsèques d'un acier à outil, à l'exception du mécanisme le plus important : le tour pour aciers à coupe rapide.

Nous devons nous résigner, jusqu'à nouvel agencement (prévu d'ailleurs), à essayer les aciers pour outils à la traction, compression, flexion, choc, dureté, forgeage, trempe, etc., et à les expérimenter, au point de vue de la coupe, sur un tour ordinaire de petite puissance. Il serait hautement désirable que nous possédions un de ces magnifiques tours à coupe rapide comme ceux employés par le professeur Nicholson, de Manchester, dans ses expériences classiques. Nous ne désespérons pas d'être pourvus de cet organe nécessaire dans un avenir rapproché.

La section a eu à faire, à plusieurs reprises, l'étude comparative de limes au point de vue du travail que ces limes étaient susceptibles d'effectuer. On distingue fort bien ces outils en opérant comme suit : on les bride sur le banc d'un étau-limeur et on fait frotter sur elles un morceau d'acier de nature définie avec une pression donnée et une vitesse donnée. Voici quelques résultats :

Limes de 25 mm de largeur, 200 mm de mordant. — Pression sur la pièce frottante : 400 g par millimètre carré.

<i>Première lime.</i>			<i>Deuxième lime.</i>		
Après 1 000 coups, poids de métal enlevé. .	31 g		Après 1 000 coups, poids de métal enlevé . .	24 g	
— 2 000 — — . .	63 g		— 1 200 — — . .	27 g	
— 3 000 — — . .	85 g		— 1 600 — — . .	34 g	
— 4 000 — — . .	115 g		— 2 000 — — . .	34 g	
			— 2 200 — — . .	34 g	

On n'a aucune peine à différencier les deux limes.

Des essais sur tiers-points ont amené à des conclusions ayant la même netteté.

Nous pourrions signaler encore bien des essais relatifs aux pièces d'acier que nous avons été appelés à effectuer, mais nous nous bornerons à ceux qui précèdent pour ne pas trop allonger ce travail.

Fontes. — Les fontes les plus employées dans l'industrie se divisent en trois classes: les fontes ordinaires, les fontes blanches et les fontes malléables.

Les fontes ordinaires que nous avons eu à essayer sont surtout destinées aux pièces de machines; il en existe de bien médiocres à côté d'excellentes. Les trop grandes teneurs en graphite et en phosphore sont à éviter si l'on veut avoir des métaux un peu résistants. Nous savons tous que l'on essaie la fonte à la traction et au choc par flexion, il ne sera pas inutile, pensons-nous, de montrer par un exemple comment, dans ces deux genres d'essais, deux fontes presque identiques, mais différant par le phosphore, se séparent l'une de l'autre.

L'une de ces fontes, de qualité moyenne et que nous désignerons par A, avait la composition suivante :

Carbone total.	3,475
Graphite	2,000
Silicium	0,712
Soufre	0,082
Phosphore	0,690
Manganèse	0,432

La deuxième, marquée B, était composée comme suit :

Carbone total.	3,425
Graphite	1,950
Silicium	0,568
Soufre	0,096
Phosphore	0,252
Manganèse	0,504

La fonte A a donné 15 kg de rupture par millimètre carré à la traction; la fonte B a donné de 20 à 24 kg; la fonte A essayée au choc sur barreau de 40 × 40 mm s'est rompue sous un coup

de mouton de 10 kg tombant de 0,600 m ; la fonte B s'est rompue pour un coup de 0,80 m.

Il existe des fontes qui ne peuvent supporter plus de 8 à 9 kg par millimètre carré à la traction et qui se rompent pour le plus faible choc ; il est rare que de semblables métaux ne soient pas impurs et criblés de trous de graphite.

On a étudié de mieux en mieux ces questions de la résistance des fontes, depuis quelques années, mais il reste encore beaucoup à faire dans ce sens.

Au point de vue de la compression, nous avons eu l'occasion d'essayer diverses fontes sous forme de petits cylindres de 10 mm de diamètre et 15 mm de hauteur et nous avons constaté que la résistance unitaire de rupture variait de 80 à 125 kg, soit de cinq à huit fois la résistance à la traction.

La fonte blanche est, comme on le sait, obtenue en partant de fontes assez peu carburées tenant assez de manganèse. Toute une industrie est basée sur la fabrication de ces fontes qu'on emploie partout où il faut une dureté exceptionnelle. On sait que les pièces constituées par ces fontes ont leur surface différente de leur partie médiane. On parvient à obtenir cette surface blanche par un moulage dans des coquilles refroidies qui trempent la fonte. On conçoit qu'il faille, pour que la trempé soit réalisée, employer une fonte d'où le graphite ne puisse se séparer pendant le refroidissement. Ce graphite formerait, en effet, des surfaces de faiblesse dans la croûte trempée, surtout s'il s'isolait en éléments cristallins. Il ne faudrait pas croire que le carbone libre n'existe pas dans la partie blanche des fontes coulées en coquille ; les deux analyses suivantes du cœur gris et de la surface blanche d'un même morceau de fonte le montrent aisément :

	Partie blanche.	Partie grise.
	0/0.	0/0.
Carbone non combiné	1,50	3,30
— combiné.	2,75	0,90
Silicium.	1,68	1,70
Soufre.	0,068	0,065
Phosphore.	0,785	0,768
Manganèse.	0,95	0,90

La trempé maintient donc la plus grande partie du carbone à l'état combiné, mais non pas l'intégralité. Il reste donc du car-

bone libre entre les aiguilles blanches qui caractérisent la structure de la partie trempée des fontes qui nous occupent (voir *fig. 4, Pl. 189*), mais ce carbone est dans un état de division extrême et ne modifie pas la ténacité comme il le ferait s'il était cristallin. Les aiguilles constituantes de la partie trempée ne sont pas formées, comme on l'a souvent cru, par de la cémentite, mais par une dissolution de cémentite dans le fer. Nous avons pu établir ce fait important dans une série d'expériences consacrées à la trempe dont il sera question plus loin. Ce sont les éléments constituants des métaux ferreux les plus durs que nous ayons constatés ; à 700°, ils se résolvent en graphite et en cémentite.

La fonte malléable a souvent fait l'objet de nos essais. On en fabrique actuellement d'excellente en France ; on peut trouver, sur le marché, des fontes qui donnent jusqu'à 40 kg de charge de rupture par traction et un allongement de 5 à 6 0/0. Ces résultats ne sont pas courants évidemment, mais nous avons pu cependant les constater. Généralement on obtient de 20 à 30 kg de résistance à la rupture et un allongement de 2 à 3 0/0. L'écueil à éviter dans la fabrication de cette matière mixte, composée d'une surface décarburée et d'un cœur fonteux, est l'excès de graphite dans la fonte originelle ; ce graphite peut être difficilement enlevé par le produit oxydant et il laisse, en outre, des trous qui sont peu favorables à la résistance du métal (voir *fig. 5 et 6, Pl. 189*).

Une bonne pièce en fonte malléable doit être susceptible de se plier sérieusement avant de se rompre.

II. — MÉTAUX CUIVREUX.

Nous aurions bien des essais à signaler portant sur le cuivre et ses alliages ; nous nous bornerons à mentionner les plus intéressants.

Tous les ingénieurs savent que le cuivre en tôles ou en barres épaisses, non écroui donne environ 22 kg de résistance à la traction et un allongement qui atteint parfois 50 0/0. Ecroui, le cuivre gagne en résistance et perd en ductilité. On trouve couramment des fils ayant 2 à 3 mm de diamètre qui ont une résistance de 45 à 48 kg et un allongement de 1 à 3 0/0. Les fils de trolley écrouis ont une limite élastique d'environ 30 kg, une résistance de 40 kg et un allongement de 5 à 10 0/0.

A chaud, le cuivre diminue sérieusement de ténacité et de ductilité; ainsi un cuivre qui donnait $R = 22$ kg, $A = 48$ 0/0, à la température ambiante ne présentait plus qu'une résistance $R = 16,5$ kg et un allongement $A = 34$ 0/0 à 250° . On doit tenir compte de ce fait quand on emploie le cuivre dans les chaudières. Il y a lieu d'ajouter que la limite d'élasticité paraît beaucoup moins influencée que la charge de rupture par la chaleur.

Il sera peut-être intéressant de signaler les effets bienfaisants du brunissage sur le cuivre obtenu par dépôts électrolytiques. On a affaire à un métal médiocre lorsque le cuivre est brut de dépôt, pourrait-on dire: il a tout au plus un allongement de 7 à 8 0/0; le même cuivre écroui, resserré par brunissage donne un allongement de 35 à 40 0/0. C'est là un phénomène absolument analogue à celui qu'on constate pour le zinc par exemple, qui brut de coulée a une résistance de quelques kilogrammes et un allongement insignifiant, et qui, laminé, atteint une ténacité de 15 kg et un allongement de 20 0/0. La cristallisation grossière correspondant au premier cas est détruite dans le second.

Le cuivre est un excellent métal pour la fabrication des crushers de compression. On sait que ces crushers sont de petits cylindres calibrés qui servent à la mesure d'efforts élevés dans des conditions telles que les mesures ordinaires sont impossibles. Ainsi on emploie beaucoup les crushers pour la détermination des pressions d'explosion des poudres. On mesure l'écrasement subi par un cylindre en cuivre placé dans l'enceinte où se produit l'explosion et on peut, grâce à un tarage préalable, savoir à quel effort correspond cet écrasement. Voici quelques résultats se rapportant à la compression de crushers de 8 mm de diamètre et de 13 mm de hauteur :

Pression.	Réduction de hauteur du crusher.
—	—
kg	mm
500	0,40
1 000	1,15
1 500	2,10
2 000	3,30
2 500	4,40
3 000	5,50
4 000	6,30
4 500	7,40
5 000	7,75

La palmer permettant d'apprécier le 100° de millimètre, on voit qu'on peut, vers 5 000 kg, mesurer encore les efforts à 15 kg près.

Au point de vue du choc, les crushers sont d'excellents auxiliaires, ils permettent de déterminer à 0,1 kgm près le travail en excès d'un mouton qui vient de rompre une barrette.

Signalons que l'un des essais les mieux appropriés, à notre avis, pour qualifier la malléabilité du cuivre sous toutes ses formes nous paraît être l'essai de flexions répétées; il est fort démonstratif en ce qui concerne les fils. Dans un autre ordre d'idées, nous avons eu l'occasion de constater que le cuivre écroui perd son écrouissage dans 300° par réarrangement moléculaire; il ne faut donc pas compter sur cet écrouissage à des températures un peu élevées; en outre nous avons pu vérifier que l'action d'une température assez basse (180°), maintenue longtemps, se traduit parfois pour le développement d'une cristallisation grossière, ennemie d'une bonne résistance et d'une malléabilité convenable.

Alliages du cuivre. — Les alliages du cuivre sont innombrables, et à chaque instant nous avons eu à en expérimenter. Les essais auxquels nous soumettons ces métaux varient avec leur emploi; tel métal sera essayé à la traction à température ambiante, tel autre à une température très élevée; une autre sera examinée au point de vue de ses propriétés de fusibilité, ou de compression ou de frottement. Disons quelques mots de ce qui nous a paru le plus intéressant parmi les essais que nous avons effectués.

Pour les pièces mécaniques, on fabrique couramment aujourd'hui des bronzes dits à haute résistance qui donnent, bruts de coulée, des limites élastiques de 20 kg, des résistances de 45 à 50 kg et des allongements de 35 à 40 0/0. Ces bronzes contiennent généralement du manganèse ou de l'aluminium. La figure 4 montre les diagrammes de traction d'un même bronze essayé à la température ambiante et à 215°. On reconnaît là encore l'intérêt qu'il y a à tracer ces diagrammes pour caractériser l'influence de la température. Certains bronzes dits phosphoreux ont, après écrouissage, une limite élastique de 60 kg, une résistance de 90 à 100 kg et un allongement de 1 à 2 0/0. Nous ne saurions trop recommander de toujours bien préciser l'état dans lequel se trouve un métal quand on l'apprécie par des chiffres. Il faut signaler que les alliages du cuivre de l'industrie sont bien

rarement simples; ils contiennent toujours une quantité de métaux constitutants dont l'influence parfois bonne, plus souvent mauvaise, est encore bien mal connue. Il existe parfois des trouvailles sensationnelles telles que ce bronze qui nous a donné 50 kg de charge de rupture et 75 0/0 d'allongement et qui était vendu comme bronze ordinaire.

Nous citerons parmi les bronzes que nous avons étudiés ceux

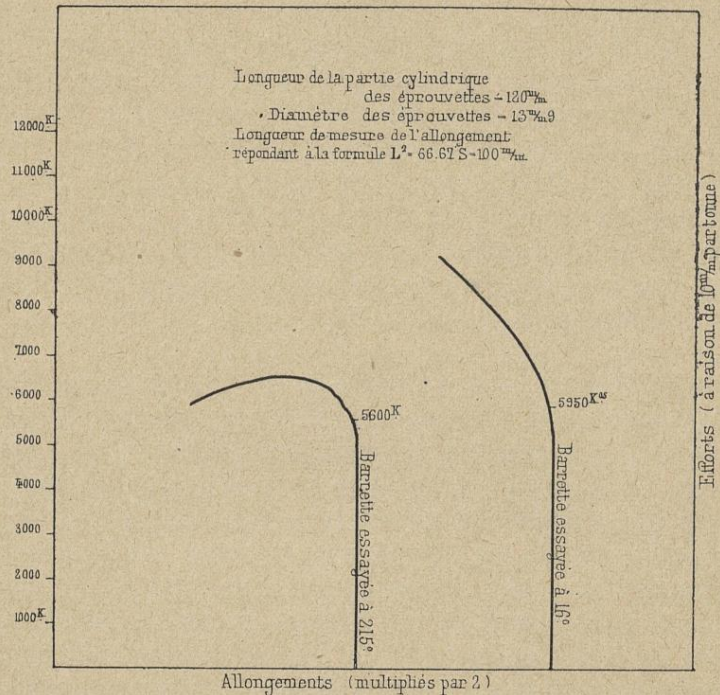


FIG. 4.

au plomb, si répandus actuellement dans l'industrie pour les coussinets. On introduit jusqu'à 33 0/0 de plomb dans le cuivre; on réalise une émulsion mais non un alliage; ces faits sont bien connus; il semble qu'une teneur en plomb de 8 à 10 0/0 soit suffisante pour obtenir un métal susceptible d'un bon frottement; 5 à 7 0/0 d'étain semble être la quantité employée pour ce genre de métaux. La limite d'élasticité à la compression d'un bronze au plomb à 33 0/0 n'est pas aussi basse qu'on le croirait; elle atteint jusqu'à 15 kg par millimètre carré; la résistance à

la rupture par compression est d'environ 45 à 50 kg, et l'affaissement à la rupture de 40 à 50 0/0.

La grosse question, dans la préparation de ces bronzes au plomb, est de distribuer le plomb d'une façon suffisamment homogène dans la masse cuivreuse. Les figures 8 et 9 de la planche 189 montrent deux structures de ces métaux dans lesquelles on trouvera une mauvaise et une bonne diffusion du plomb dans le cuivre.

Nous ne dirons rien des laitons qu'on emploie plutôt sous forme de barres, de tôles, de fils et non pas à l'état moulé comme les bronzes. Nous signalerons en passant un remarquable bronze d'aluminium à 10 0/0 d'aluminium qui prend parfaitement la trempe et se forge très bien; un alliage cuivre-fer à faible teneur en ce dernier métal, qui donne une résistance de 28 à 30 kg et un allongement de 40 0/0 à toutes les températures jusqu'à 250°; ce qui est vraiment remarquable.

III. — ALUMINIUM.

Les applications mécaniques de l'aluminium n'ont peut-être pas été aussi nombreuses qu'on pouvait autrefois l'escompter quand on connaissait imparfaitement les propriétés de résistance de ce métal. Quand il est employé seul, voici quelles sont ses caractéristiques ordinaires de traction : Brut de coulée $R = 7$ à 12 kg; $A = 1$ à 5 0/0; parfois cependant on atteint 20 0/0 avec un aluminium pur. Laminé et écroui en tôles $R = 16$ à 30 kg, $A = 3$ à 1 0/0. En fils, $R = 20$ à 40 kg; $A = 5$ à 2 0/0.

A la compression, un aluminium de bonne qualité, c'est-à-dire sans impuretés, a une limite élastique de 10 kg et peut considérablement s'écraser sans se rompre.

A la traction par choc, nous avons eu l'occasion d'essayer un aluminium en barres laminées qui demandait pour être rompu de 8 à 10 kgm par centimètre cube de métal déformé, sur barrettes sans entailles, et qui exigeait de 5 à 12 kgm par centimètre carré de section à fond d'entaille sur barrettes entaillées; ces valeurs correspondent à celle d'un acier médiocre. En somme l'aluminium pur n'offre pas des constantes mécaniques d'un haut intérêt; c'est peut-être ce qui explique le retard de sa diffusion dans le domaine des applications mécaniques. On n'a peut-être pas su bénéficier jusqu'à présent des propriétés que des traitements mécaniques suivis de traitements thermiques bien conçus

et à rechercher, seraient capables de conférer à ce métal; c'est là une opinion personnelle que nous nous sommes faite de l'examen de nombreuses pièces d'aluminium qui ont passé entre nos mains.

L'aluminium se soude assez bien par soudure autogène; plusieurs procédés bien conçus et dont les épreuves nous ont été soumises nous permettent d'affirmer qu'il en est bien ainsi. On arrive à faire des soudures qui donnent une résistance de 10 à 15 kg et un allongement de 5 à 10 0/0, et qui ne présentent aucune différence avec le métal environnant, à part une structure plus grossière due au chauffage des parties soudées (voir *fig. 10, Pl. 189*).

On a cherché à allier l'aluminium à d'autres métaux (cuivre, zinc, nickel, antimoine, etc.). On n'a guère réussi à donner de la ténacité au métal. En sorte que l'aluminium ne doit être considéré que comme un métal applicable à des pièces qui n'ont pas de trop grandes sollicitations à supporter. Il est question, comme on sait, de se servir de ce métal pour remplacer la monnaie de billon. Nous avons eu l'occasion de faire l'étude du métal destiné à cet usage et qui est un aluminium vraiment remarquable, aussi tenace que l'argent des monnaies.

Les impuretés de l'aluminium comprennent le cuivre, le silicium, le fer et le sodium; on ne saurait trop, à notre avis, les éviter dans un métal assujéti à des traitements mécaniques un peu sévères.

IV. — PLOMB.

Le plomb, qui nous a fourni maintes fois l'occasion d'essais intéressants, est un métal actuellement mieux étudié que jadis au point de vue mécanique. Nous avons eu à examiner certains de ses alliages dans lesquels il entraînait une très faible teneur en éléments étrangers et qui pourtant se différenciaient très nettement du plomb pur. Ce dernier est le métal mou par excellence, il donne à la traction de 1,5 kg à 1,8 kg de résistance avec un allongement de 40 à 50 0/0; on constate que la rupture des éprouvettes de traction en plomb se fait avec une cassure en pointe aiguë, c'est-à-dire avec une striction de 100 0/0 et cependant la barrette n'a qu'un allongement total de 50 0/0; cela signifie, à notre avis, que le plomb, formé de gros cristaux plastiques, n'a pas l'homogénéité structurale parfaite.

Il y aurait intérêt à diminuer la grosseur des cristaux constituants, comme pour le zinc par exemple : on ferait gagner au métal de la ténacité tout en lui conservant sa malléabilité. C'est vraisemblablement ce qu'on réalise par l'adjonction de certains éléments qui, introduits même en petite quantité, suffisent à détruire cette cristallisation grossière si funeste à tous les métaux.

On est parvenu, de la sorte, à faire croître la résistance du plomb jusqu'à 3 kg par millimètre carré tout en lui conservant un allongement de 50 0/0. Le module d'élasticité du plomb est d'environ 1 500 (celui du fer étant de 20 000).

Le plomb est surtout employé pour la fabrication des tuyaux.

Voici quelques résultats d'essais d'éclatement par pression hydraulique de tuyaux en plomb ordinaire et de tuyaux en plomb spécialement traité.

Diamètre des tuyaux.		Pression par centimètre carré qui a produit l'éclatement des tubes.
Intérieur.	Extérieur.	
— mm	— mm	

Plomb ordinaire :

13	20	92,6
16	22	60
20	30	75
27	36	50,5
40	52,4	57

Plomb allié :

13	15	52
13	20	84
16	25	86
19	29	100
26	36	69
40	52	68
60	72	40
70	79	37

Antifrictions. — Les antifrictions sont légion et contiennent tous plus ou moins de plomb. Les métaux qu'ils contiennent en outre sont généralement l'antimoine, l'étain, le cuivre, le bismuth et le zinc. Il est rare que ces métaux aient une charge de rupture à la compression supérieure à 15 kg par centimètre carré ; ceux chargés en antimoine et en zinc sont secs et se rompent sans se déformer notablement ; ceux contenant de l'étain et du plomb en grandes quantités sont malléables si un autre élément ne vient pas apporter une perturbation.

Leur structure microscopique est fort complexe ; ils contiennent des composés définis, des solutions solides, des eutectiques, etc. ; ce n'est pas ici qu'on peut songer à aborder leur étude, par ailleurs séduisante.

La figure 11 de la planche 189 montre la structure d'un antifriction communément employé dans laquelle on reconnaîtra les cubes de SbSn^3 étudiés par M. Charpy.

On emploie ces alliages pour les coussinets et on suppose qu'ils sont favorables au frottement, mais bien peu de données précises existent pour appuyer cette assertion, ainsi que nos essais dans ce sens nous permettent de le penser. La section a eu, à maintes reprises l'occasion d'essayer ces métaux sous forme de coussinets avec la machine Martens précédemment décrite. D'une façon générale, on peut dire que malgré leur mollesse, ils supportent bien les pressions élevées et les grandes vitesses d'essai et qu'ils ont un coefficient de frottement plus faible que les bronzes ordinaires.

V. — MÉTAUX PRÉCIEUX.

On a bien rarement l'occasion de trouver dans la littérature des renseignements sur les propriétés des alliages des métaux précieux, aussi pensons-nous être utile en faisant connaître les résultats de quelques essais que nous avons eu la bonne fortune d'effectuer sur des alliages de ce genre. Il s'agissait de savoir quel était le point de fusion d'alliages quaternaires d'or, d'argent, de cuivre et de zinc, d'une part, et d'alliages ternaires d'argent, de cuivre et de zinc d'autre part. Ces alliages étaient employés à la préparation de soudures ou brasures.

La composition de ces alliages était la suivante :

I. — Alliages d'or.							
	OR	ARGENT	CUIVRE	ZINC	DURETÉ	ANGLE DE FLEXION à la rupture	FUSION ENTRE
N° 1. .	170	486	314	35	118	26°	781° et 790°
N° 2. .	352	388	253	5	164	170°	782° et 795°
N° 3. .	499	292	187	20	235	164°	835°
N° 4. .	563	247	180	10	166	164°	802° et 812°
N° 5. .	625	198	177	11	152	160°	794° et 810°

II. — Alliages d'argent.						
	ARGENT	CUIVRE	ZINC	DURETÉ	ANGLE DE FLEXION à la rupture	FUSION ENTRE
N° 1. .	540	323	137	82	19°	694° et 705°
N° 2. .	633	258	109	94	110°	706° et 720°
N° 3. .	712	203	85	104	140°	711° et 730°
N° 4. .	792	146	62	106	150°	720° et 724°
N° 5. .	840	112	48	94	150°	733°
N° 6. .	850	105	45	75	84°	732°

Nous avons indiqué dans ces tableaux, outre leur composition, les résultats des essais de fusion de ces métaux, des essais de dureté par la méthode de Brinett, des essais de flexion sur barrettes de 10 mm $\times$ 6 mm obtenues par coulée de ces alliages en moule métallique. L'angle de flexion mentionné est compté intérieurement aux branches des barrettes fléchies.

On peut remarquer que :

1° Pour les alliages d'or il existe un maximum de dureté pour l'alliage à 48,9 0/0 d'or. Ce maximum de dureté correspond à la température de fusion maximum. La malléabilité varie peu depuis 35 0/0 jusqu'à 62 0/0 d'or ;

2° Pour les alliages d'argent le maximum de dureté correspond aux teneurs de 71 à 79 0/0 ; ce maximum correspond au minimum de flexibilité. On peut dire que de 63 à 89 0/0 d'argent, la température de fusion ne varie presque pas ; la micrographie indique qu'on a affaire à la fusion d'un eutectique, complexe

vraisemblablement, mais qui jouit de la propriété de tous les eutectiques de fondre à température constante. Il n'y a donc pas intérêt à employer beaucoup d'argent pour la fabrication de ces alliages nobles pour brasures, puisqu'on n'élève ni n'abaisse de cette façon leur température de solidification.

En ce qui concerne les alliages d'or, on peut tirer une conclusion analogue, et cependant leur structure ne présente pas d'eutectiques, mais plutôt des solutions solides en cristallites curieusement hétérogènes. Mais il nous est impossible d'étudier ici ces faits qui feront l'objet d'un travail ultérieur.

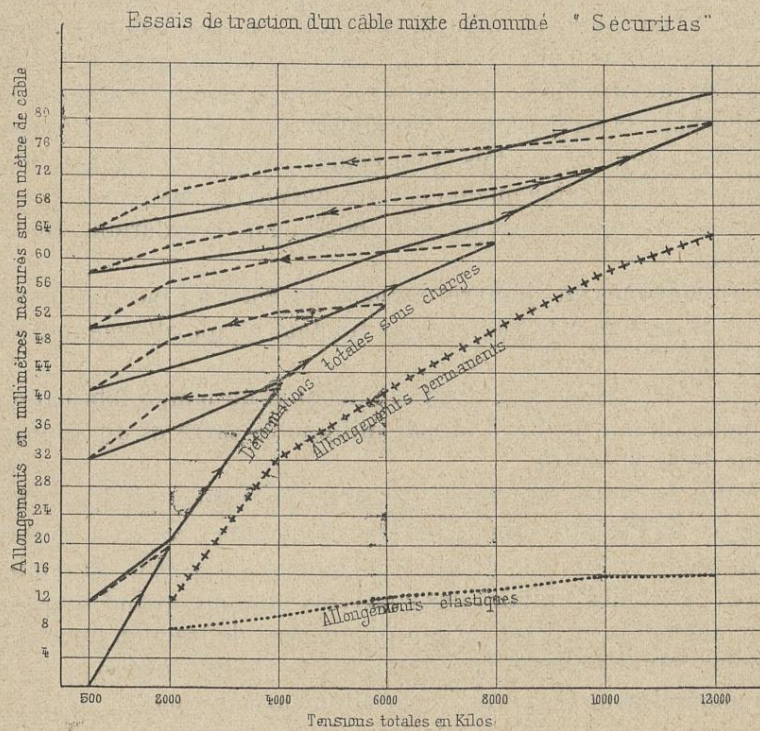
VI. — CABLES DE MINES EN ALOÈS ET CORDAGES.

La question de l'essai des câbles de mines en aloès est une de celles qui préoccupent à juste titre les Ingénieurs des Compagnies d'exploitation et les Ingénieurs de l'État. Le laboratoire du Conservatoire dispose d'un outillage pour procéder à ces essais sans passer par les méthodes détournées de sectionnement, de subdivision longitudinale de ces câbles. On peut, au moyen de la grande machine d'essais, rompre d'un coup des câbles de 500 mm de largeur. Il résulte de nombreux essais effectués sur ces pièces qu'un bon câble en aloès neuf peut donner une résistance à la traction de 600 à 650 kg par centimètre carré de section transversale ; après usage, cette résistance tombe de 350 à 450 kg. L'allongement des câbles peut atteindre 15 à 20 0/0 ; celui des câbles usagés est réduit parfois à 9 et 10 0/0. C'est donc une nécessité de faire essayer régulièrement ces engins de levage, dont la fonction dans les mines est si importante.

Les cordages ont un rôle moins capital à jouer, mais il n'est pas négligeable toutefois. On sait bien peu de chose sur leurs propriétés mécaniques qui n'ont donné lieu qu'à une codification assez anodine. On sait qu'on demande aux cordages de présenter une résistance à la rupture qui soit un certain nombre de fois la valeur de leur poids au mètre. Avec de bons cordages en chanvre on peut atteindre 12 000 fois ce poids unitaire, mais, en moyenne, on ne dépasse guère le chiffre 10 000. On a essayé des cordages en ramie qui n'ont pas paru donner des caractéristiques supérieures à celles des cordages en chanvre.

Ce qui importerait avant tout, à notre avis, ce serait de con-

naître les lois des déformations de ces pièces en fonction des efforts qu'elles supportent. Nous avons eu l'occasion de voir, en étudiant ces lois sur des cordages mixtes, composés de fils d'acier et de torons en chanvre, qu'on ferait d'utiles constatations en s'adonnant à ces recherches. Les cordages, étant des corps ne



N.B. Les essais ont été effectués en soumettant le câble à des efforts croissant par 2000 Kilos. Sous chacun de ces efforts on a mesuré l'allongement total du câble. Pms en ramenant chaque fois l'effort à 500 Kilos, on a mesuré les allongements permanents et les allongements élastiques. La charge de départ a été prise à 500 Kilos pour que la disposition des repères destinés à la mesure des allongements pût être faite sur une partie bien rectiligne du câble

FIG. 5.

jouissant pas de la compacité parfaite des métaux, obéissent à de tout autres lois que ces derniers ; ils sont assujettis aux phénomènes de l'hystérésis mécanique. La figure 5 montre qu'il en est bien ainsi pour un cordage mixte contenant quelques fils d'acier dans chaque toron. Bien des points obscurs mériteraient d'être éclaircis dans ce domaine de la technique industrielle.

VII. — COURROIES.

Les courroies sont des organes tellement employés dans l'industrie qu'il est tout naturel de les voir présentées fréquemment à nos essais ; nous en avons expérimenté de tous genres : en chanvre, en coton, en tissu caoutchouté, en tissu balaté, en poils de chameau, en cuir, etc. Pour ces substances, également, les lois des déformations mériteraient d'être mieux étudiées : les dimensions, la température, l'humidification, jouent un rôle dans l'établissement de ces lois, tout comme pour les cordages. On a bien peu de renseignements sur ces questions, malgré de beaux travaux tels que ceux de MM. Boulanger, Nicolardot, Rudeloff, etc.

Les courroies en chanvre donnent de 2 à 3 kg par millimètre carré de section à la rupture par traction et un allongement de 18 à 25 0/0.

Avec les courroies en tissu caoutchouté de bonne fabrication, on peut obtenir de 4 à 5 kg par millimètre carré et un allongement de 18 à 20 0/0.

Celles en tissus imprégnés de balata peuvent atteindre de 5 à 7 kg par millimètre carré avec un allongement de 15 à 16 0/0. Très rarement, on atteint un allongement de 25 0/0. Il semble que la résistance unitaire des courroies diminue quand leur largeur augmente et il est certain qu'un essai de traction mené vivement fait augmenter la résistance à la rupture comme c'est le cas général pour les corps imparfaitement compacts.

VIII. — CUIRS.

Les courroies en cuir ont rarement une résistance à la rupture qui dépasse 6 kg, même quand le cuir est chromé. Le cuir ordinaire ne donne guère que de 2,5 à 4 kg, et son allongement n'excède pas 30 0/0, alors que celui du cuir chromé peut atteindre 70 0/0. On ne saurait trop insister sur la nécessité d'établir les diagrammes de traction des courroies de tout genre quand on veut se faire une opinion sur la façon dont elles se comporteront à l'usage ; leurs propriétés d'élasticité ont, comme bien l'on pense, la plus haute importance et ne peuvent être évaluées que par un essai approfondi de la nature de celui que nous préconisons ici.

Le cuir ne sert pas seulement à la fabrication des courroies ; il sert aussi à une foule d'autres usages ; un de ceux où il a le plus trouvé de débouchés dans ces dernières années est celui se rapportant à la fabrication des antidérapants pour pneumatiques. Il y avait un problème à résoudre à propos de cette qualité de cuir : il fallait, en effet, qu'il pût supporter, sans altération notable, la température de vulcanisation des pneumatiques sur lesquels il est appliqué. Nous avons eu l'occasion d'étudier des cuirs chromés qui satisfont entièrement à cette condition et qui supportent jusqu'à une température de 150 degrés sans perdre plus de 15 à 20 0/0 de leur résistance et de leur allongement. A 160 degrés, on a généralement une perte qui augmente brusquement jusqu'à 50 0/0 ; le cuir a dépassé la limite de température qu'il pouvait à peu près impunément supporter.

Nous avons essayé à diverses reprises du cuir vert, c'est-à-dire du cuir non tanné. On sait que ce cuir est employé aujourd'hui en quantité pour la fabrication des engrenages. C'est un excellent produit qui, à la traction, donne une résistance de 5 à 7 kg et un allongement de 25 à 40 0/0, s'usant peu, susceptible de réaliser un bon frottement, sans aucune fragilité et d'une bonne raideur.

On a essayé de fabriquer du cuir artificiel par agglomération de déchets de cuir, mais on arrive bien difficilement à faire donner au nouveau produit des constantes mécaniques qui soient la moitié de celles d'un cuir naturel très ordinaire.

IX. — Tissus.

Les tissus ont maintes fois fait l'objet de nos préoccupations ; on se borne, dans la pratique habituelle, à en déterminer la résistance à la rupture et l'allongement à la traction, sur des bandes de dimensions arbitraires. On ne se soucie pas de rechercher l'influence des facteurs qui peuvent agir sur ces deux caractéristiques et qui sont : les dimensions des témoins, l'humidification, la vitesse d'essai, le mode d'amarrage, etc.

Nous avons muni les dynamomètres, qui servent aux essais de tissus, d'un outillage qui permet non seulement de mesurer la résistance et l'allongement, mais aussi de tracer automatiquement le diagramme de l'essai et ce diagramme a une signification des plus nettes ; il permet de distinguer le processus des

déformations suivant le sens du tissu (chaîne et trame); il donne le moyen de qualifier le serrage et la souplesse du tissu.

Signalons la possibilité que nous avons d'effectuer avec ces dynamomètres un genre d'essais qui a été introduit il y a quelques années par M. Persoz et qui consiste à enfoncer une bille d'acier dans un disque du tissu jusqu'à rupture de ce tissu; on relève la charge de déchirure et la flèche concomitante. Ce mode d'expérimentation fait travailler à la fois la chaîne et la trame du tissu et se rapproche, plus que l'essai de traction ordinaire, de ce qui se passe pendant l'emploi de cette substance.

Dans une série d'essais effectués sur des tissus caoutchoutés, nous avons eu l'occasion de faire à la fois des essais de traction et des essais de perforation; en voici quelques résultats :

TISSU N°	R. PAR TRACTION		ALLONGEMENT à la rupture		PERFORATION			
	CHAÎNE	TRAME	CHAÎNE	TRAME	Bille de 10 mm de diamètre		Bille de 20 mm de diamètre	
					R	FLÈCHE	R	FLÈCHE
	kg	kg	0/0	0/0	kg	kg	kg	kg
1	40	40	42	39	22,50	11,0	33,0	11,2
2	92	92,5	56	48	45	15,0	75	15,0
3	102	95	48	56,5	58	19,0	108	20,5
4	60	55	41	55	65	19,5	175	21,0
5	115	30	38,5	41	182	28,0	230	18,5
6	24	84	51	8	15	10	24,5	10,5
7	11	15	36	24	15,0	9,5	30	12,5

On peut faire, et nous avons fait, bien d'autres essais sur les tissus, notamment sur ceux qui précèdent; nous avons pratiqué des essais de perméabilité à l'air et à l'eau pour vérifier l'efficacité du caoutchoutage, des essais de congélation pour voir à quelle température le caoutchouc durcissait.

On a trouvé, à ce dernier point de vue, que le caoutchouc de ces tissus ne se rigidifiait sérieusement que vers 20 degrés centigrades.

On peut faire encore des essais de déchirure en amorçant d'abord une fente dans le tissu et en évaluant l'effort nécessaire à la propagation de cette dernière. C'est là une sorte d'essai de fissilité qui a un grand intérêt.

X. — CAOUTCHOUC.

Nous arrivons à l'examen rapide des caoutchoucs industriels qui, souvent, nous ont été présentés. On sait que le caoutchouc est une matière qui se laisse incorporer les produits les plus disparates. Là encore on sait bien peu de chose sur les relations qui unissent les propriétés de cette matière à sa composition. M. Boutaric a signalé à la Société, avec une précision magistrale, toutes les difficultés qui s'attachent à l'étude de cette substance protéiforme qui est, avant tout, une substance organique, pour ainsi dire dévoyée dans le domaine de la mécanique.

On essaie le caoutchouc, avant tout, au point de vue de ses propriétés de déformabilité élastique ; on le sollicite à la traction, à la compression statique, réitérée ou dynamique.

À la traction, il n'est guère de caoutchoucs manufacturés qui s'allongent au delà de dix fois pour se rompre. Une grande extensibilité correspond généralement à une faible résistance. On ne compte guère, dans ce cas, sur une ténacité qui dépasse 500 à 700 g par centimètre carré. Il y a toutefois certains excellents caoutchoucs comme ceux de chambres à air de pneus d'automobiles qui donnent plus de 1 kg par millimètre carré et un allongement de sept à huit fois la longueur de mesure.

Ce qui importe, pour la bonne utilisation de cette substance, c'est que son extensibilité soit purement élastique. Tout résidu de déformation parle contre elle.

Un bon caoutchouc ne doit pas présenter plus de 15 à 20 0/0 d'allongement permanent après rupture.

Rappelons que le caoutchouc jouit de l'hystérésis mécanique à un degré d'autant plus élevé qu'il est moins pourvu de gomme.

Il existe, comme l'a montré M. Boutaric, des conditions de vulcanisation faisant intervenir les trois éléments prépondérants : soufre, température et temps de vulcanisation qui donnent au caoutchouc manufacturé les qualités optima. Les quelques renseignements sur l'examen microscopique du caoutchouc, dont il est question plus loin, permettront de s'expliquer ce fait.

Au point de vue de l'usure, les caoutchoucs se séparent considérablement les uns des autres ; certains s'usent dix fois plus que d'autres, dans les mêmes conditions opératoires ; d'où nécessité de ne pas laisser de côté ce mode d'expérimentation.

C'est un fait bien connu qu'on n'a pu, jusqu'à présent, remplacer

le caoutchouc dans les bandages élastiques d'automobiles; les roues métalliques ont imparfaitement résolu le problème; cela ne signifie pas qu'on n'ait fait, dans ce sens, de très intéressantes trouvailles, ni qu'on ne parviendra pas à faire encore mieux; cela ne signifie pas non plus qu'une roue à ressorts n'ait pas autant de flexibilité qu'un pneu; parfois c'est le contraire qui a lieu, mais la roue à ressorts ne « boit pas l'obstacle », comme l'a si heureusement défini notre collègue, M. André Michelin.

Voici, à ce propos, quelques résultats d'essais comparatifs d'une route élastique et métallique et d'un système de pneu qu'on plaçait entre la jante et le moyeu.

On a laissé tomber un poids de 20 kg, sur les deux systèmes de roues, d'une hauteur de 300 mm, et on a relevé les flexions provoquées par ce choc. Pour la roue à pneu, on a opéré avec des pressions d'air variables dans le pneu.

Roue métallo-élastique, flexion	11,6 mm.
Roue à pneu gonflé d'air à 1 kg. . . .	7,5 mm.
— — — à 2 kg. . . .	6,00
— — — à 3 kg. . . .	5,5
— — — à 4 kg. . . .	4,0
— — — à 5 kg. . . .	3,5
— — — à 6 kg. . . .	3,5

On constate que la première roue est plus flexible que la seconde et que, dans cette dernière, la souplesse diminue rapidement avec la pression de l'air dans le pneu.

Quelle pression faut-il pour faire éclater un pneumatique? Nous avons eu à répondre à cette question. Les essais nous ont appris qu'une pression hydraulique de 25 à 30 kg par centimètre carré suffit pour provoquer la rupture des toiles de l'enveloppe ou la fissuration de la chambre à air près de la valve. Il s'agit, bien entendu, de pneus ordinaires pour véhicules automoteurs de puissance modérée.

Nous aurions encore bien d'autres données à signaler au sujet du caoutchouc ou de ses applications, mais nous devons nous borner.

XI. — Bois.

Les bois qu'on essaie servent habituellement à la construction. On les soumet à des sollicitations de compression, flexion, traction, fendage, cisailage, etc.

Pour la flexion, on se sert de petits barreaux de 20×20 mm ou 30×30 mm de section qu'on essaie en les plaçant sur deux appuis distants de 250 à 300 mm. Les conditions opératoires sont arbitraires. Le sens de l'effort par rapport aux fibres a, on le conçoit, une grande importance, de même que l'état de siccité. Nous avons eu à effectuer des essais comparatifs de flexion de bois ignifugés ou non et nous avons constaté que l'ignifugeage ne changeait rien des propriétés de ces bois.

Humide, le bois est moins résistant que sec et est susceptible d'une plus grande déformation. Le module d'élasticité du chêne varie de 500 à 1 200 suivant le sens des fibres.

A la compression on trouve pour le chêne des efforts de rupture varient de 1,5 kg à 8,5 kg suivant l'orientation des fibres par rapport à l'effort. Les courbes de compression des bois sont intéressantes à relever.

Au point de vue du fendage, on peut dire que les essais donnent des résultats qui varient avec une foule de contingences (mode de fendage employé, sens des fibres, etc.).

Voici, d'autre part, des résultats d'essais d'arrachement de tirefonds de chemins de fer dans deux sortes de bois :

Bois de sapin, effort d'arrachement 2 270 kg.

Bois de hêtre, effort d'arrachement 5 880 kg.

Le bois est une substance assez peu capable d'absorber des chocs. Ainsi des barreaux carrés de $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ en chêne placés sur deux appuis distants de 500 mm n'ont pu absorber plus de 30 à 50 kgm pour être rompus.

On peut fort aisément déterminer la dureté d'un bois par la méthode de Brinell.

Enfin la mesure de la densité est une de celles à préconiser pour la qualification des bois de tous genres; nous la pratiquons par la méthode du Professeur Unwin (voir Materials Textbook), après avoir soin d'étuver le bois jusqu'à constance du poids. Ce conditionnement est absolument indispensable pour un résultat qui doit avoir une signification, car l'eau contenue dans le bois en fait varier la densité d'une quantité considérable.

Nous ne pouvons qu'effleurer ces questions dans cette étude déjà longue, dont le but est surtout de montrer les opérations auxquelles nous nous livrons à la section des Métaux.

Signalons, en dernier lieu, des essais de rupture de poulies en bois que nous avons effectués en exerçant une tension tangen-

tielle sur ces poulies à la façon dont le ferait une courroie de transmission. Une poulie de 900 mm de diamètre, 200 mm de largeur de jante et 37 mm d'épaisseur de jante a pu supporter sans déformation permanente un effort tangentiel de 790 kg c'est-à-dire aurait pu transmettre 49,7 chx.

Un autre de 754 mm de diamètre, 255 mm de largeur, 37 mm d'épaisseur de jante a supporté un effort de 1 485 kg, c'est-à-dire aurait pu transmettre un travail de 78,4 chx.

Une troisième de 750 mm de diamètre, 165 mm de largeur, 58 mm d'épaisseur de jante a supporté 1 115 kg, c'est-à-dire aurait été susceptible de transmettre un travail de 78,5 chx.

XII. — HUILES ET MÉTAUX POUR FROTTEMENTS.

Nous avons indiqué que nous possédions deux machines pour l'essai des huiles au point de vue du frottement. La machine Martens sert également au frottement des métaux sous forme de coussinets.

On a pu montrer avec elle comment une huile se comporte au point de vue de l'échauffement et de la consommation quand on fait varier la pression et la vitesse d'essai. Nous avons créé pour cela des essais que nous avons qualifiés du nom d'essais « d'endurance ». Nous faisons fonctionner la machine à une pression et à une vitesse maintenues constantes pendant tout le temps de l'essai et nous relevons l'accroissement de température et la consommation d'huile en fonction du temps de marche. On arrive ainsi à différencier les huiles d'une façon remarquable et l'on a en somme les deux caractéristiques qui intéressent avant tout le consommateur.

Pour une même huile, voici ce qu'on constate :

1° *A vitesse constante*, le coefficient de frottement diminue rapidement quand la pression augmente, passe par un minimum, puis se relève pour des pressions variant généralement entre 60 et 80 kg par centimètre carré.

2° *A pression constante*, le coefficient de frottement augmente avec la vitesse aux faibles pressions ; diminue d'abord puis augmente ensuite aux pressions élevées.

Nous parlons, bien entendu, de coefficients à une même température.

3° *A vitesse constante*, le temps nécessaire pour atteindre une même température diminue avec la pression croissante suivant

une loi complexe que nous espérons élucider sous peu : il est de même de la consommation du lubrifiant.

La machine Martens a permis de mettre en évidence par des essais spéciaux l'influence favorable sur le frottement d'une huile, d'un produit lubrifiant qui, introduit dans cette huile, se volatilise légèrement dès que l'huile s'échauffe et qui, grâce à sa chaleur latente de vaporisation, retarde cet échauffement.

Avec elle, il a été possible de faire du graissage avec des

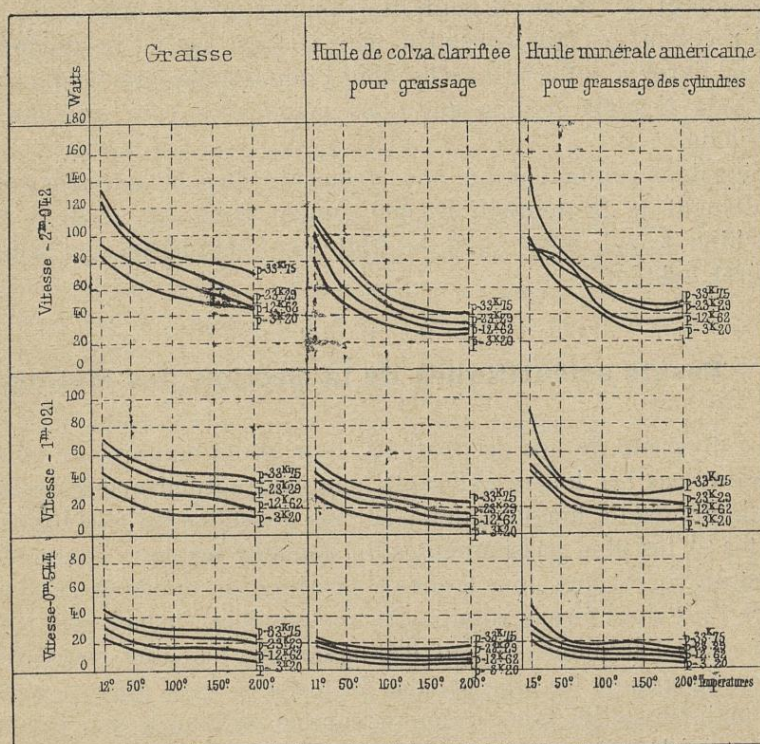


FIG. 6.

huiles à surchauffe, épaisses comme un sirop visqueux et qu'on injectait dans la machine au moyen d'air comprimé sous une pression de 8 kg par centimètre carré.

Les métaux qu'elle permet d'étudier sont façonnés en petits coussinets et on peut, outre toutes les déterminations de frottement précitées, faire sur ces coussinets la mesure de la quantité de métal enlevée par le frottement. A ce sujet les métaux se différencient très notablement les uns des autres; quelques-uns



ont une usure pour ainsi dire nulle ; tandis que d'autres, bons comme frottement, perdent trop de leur substance par arrachement moléculaire de leurs constituants structuraux (cas des bronzes phosphoreux).

La machine système Kappf dont il a été précédemment question nous a permis de comparer jusqu'à 200° des graisses, des huiles minérales, et des huiles végétales. On peut voir par la figure 6 comment le frottement diminue pour chacun de ces lubrifiants en fonction de la température quand on fait varier la pression et la vitesse. Il faudrait examiner de très près les lois qui régissent les faits constatés, mais ce n'est pas ici le moment de se livrer à cette recherche dont l'importance sera appréciée de tous. Il suffit de dire que nous y songeons pour un avenir prochain.

Signalons seulement que nous avons cru utile de mesurer non seulement le frottement de mouvement dans les essais à la machine Kappf, mais aussi le frottement de départ qui a un intérêt évident.

C. — Essais scientifiques de la Section des Métaux.

La diversité de nos occupations, leur grand nombre, ne nous laissent pas les loisirs suffisants pour entreprendre des essais méthodiques de longue haleine sur les questions les plus importantes et les plus passionnantes du domaine où nous évoluons. C'est un regret que nous tenons à exprimer au début de ce chapitre (que nous ferons aussi court que possible), mais il sera très léger, car l'accomplissement des opérations les plus courantes et en apparence les plus banales de notre service, apporte avec lui maintes satisfactions et donne, comme on a pu le voir par ce qui précède, le moyen permanent à la section de rendre des services immédiats sinon d'une haute portée scientifique. Et puis, même dans un essai très ordinaire, on peut apprendre constamment du nouveau si l'on a soin d'exercer, grâce à lui, son imagination ou sa critique ; ce sont ces essais qui donnent à l'ingénieur « l'expérience » sans laquelle il ne saurait agir avec une initiative assurée qui, seule, le fera apprécier.

Et, enfin, on pourra juger par ce qui suit que, grâce à nos mécanismes et aussi grâce à la bienveillance inlassable de nos chefs, nous avons pu mener à bien quelques études d'intérêt gé-

néral qui ont déjà fait l'objet de publications. Pour cette raison, nous n'en parlerons que très brièvement et n'en ferons connaître que quelques conclusions.

I. — ÉTUDE SUR LES ESSAIS STATIQUES ET DYNAMIQUES DE BARREAUX
ENTAILLÉS OU NON.

Dans cette étude publiée par « The Iron and Steel Institute » (1904), nous avons voulu voir quelles étaient les relations entre les effets des sollicitations lentes et vives dans les barreaux entaillés ou non. On a souvent prétendu que ces effets sont complètement discordants.

Nos essais nous ont appris qu'au contraire, les deux genres d'essais donnent des résultats absolument parallèles, sinon identiques; c'est l'exception quand il y a discordance. On peut, d'autre part, passer des barreaux entaillés aux barreaux non entaillés par des étapes graduelles qui se distinguent l'une de l'autre quand on fait varier la nature du métal.

Nous avons montré que faire une même entaille dans deux métaux différents, ce n'est pas du tout les mettre dans des conditions de comparabilité acceptables. Ainsi une entaille de 1 mm de profondeur dans un acier doux fera tomber la résistance au choc de cet acier de 20 0/0 par exemple, tandis qu'elle diminuera la résistance d'un acier dur de 80 0/0.

Mais les divers métaux ne laissent pas la déformation au droit de l'entaille se diffuser de la même façon et le volume intéressé dans la déformation est infiniment moindre dans l'acier dur que dans l'acier doux; il ne faut pas, par suite, prendre prétexte de ce que les travaux totaux mesurés dans le choc sont très différents pour conclure à une différence de fragilité des métaux, car il faut d'abord savoir à quelle quantité de métal déformé ces travaux ont été dépensés et on ne le sait généralement pas.

L'examen de la formation des lignes d'Hartmann autour des entailles nous a été très utile dans cette étude qui a porté sur plus de 1 000 éprouvettes, mais qui n'a pas la prétention d'avoir épuisé le sujet et d'avoir découvert la vérité absolue (1).

(1) M. Schüle, du Laboratoire d'essais de Zürich, a confirmé complètement cette manière de voir et a démontré que si l'on rapporte le travail dépensé pour la rupture par flexion de barreaux entaillés, à l'unité de volume de la partie réellement déformée de ces barreaux, on trouve les mêmes résultats qu'avec des barreaux sans entailles. — M. Stanton, du National Laboratory d'Angleterre, a conclu de même.

II. — ESSAIS DE TORSION D'ACIERS (1).

Ces essais nous ont appris que la sollicitation sur la génératrice de barreaux cylindriques, lors de la rupture de ces barreaux, était constante pour un même métal, quel que fût le diamètre des barreaux, et que cette sollicitation τ était unie au moment du couple de torsion M et au rayon r de la section circulaire des barrettes par la relation connue de la résistance théorique des matériaux :

$$\tau = M \frac{\pi}{2} r^3,$$

qu'en outre, cette sollicitation était à peu près la même que la charge de rupture par traction telle qu'on l'établit dans les essais habituels.

Le glissement unitaire de torsion à la rupture paraît indépendant du diamètre des barrettes de torsion.

On peut passer des essais de torsion aux essais de traction par une relation simple.

III. — ESSAIS DE POINÇONNAGE DE MÉTAUX DIVERS.

Ces essais nous ont permis d'expliquer, au moyen du microscope, comment se forment les collerettes des débouchures de poinçonnage dans divers métaux (aciers, cuivre, laiton, zinc, aluminium) ; on a montré que le rapport entre la charge maximum de poinçonnage et celle par traction n'était pas une constante, comme on le pensait. Il y aurait lieu de compléter les essais de ce genre pour être très affirmatif.

IV. — ESSAIS D'USURE DE MÉTAUX.

En collaboration avec M. Robin, assistant de la Section des Métaux, nous avons établi une méthode d'usure des métaux, qui permet d'en comparer la dureté même à l'état trempé. Pour cela on use ces métaux sur un papier émeri n° 3 à une pression et à une vitesse données et on pèse la quantité de métal enlevée après un parcours déterminé : on change le papier chaque fois.

Cette méthode a permis de bien différencier la dureté d'aciers

(1) *Bulletin du Laboratoire d'Essais*, n° 14.

que la bille de Brinell ne pouvait pénétrer parce qu'ils étaient trempés. M. Robin continue ces essais et les complète.

V. — DURETÉ DES MÉTAUX PAR LA MÉTHODE DE BRINELL.

Nous avons étudié la dureté des métaux par la méthode de la bille et avons constaté des écarts un peu trop grands dans les résultats pour qu'on pût se servir de cette méthode en vue de la sélection et de l'achat des métaux. Nous avons étudié l'influence du diamètre de la bille sur les résultats de la mesure de la dureté.

M. Robin a poussé les déterminations jusqu'à 1 000° et jusqu'à — 180°, et a présenté les résultats de ses travaux à la Société.

VI. — ÉTUDE DE TUBES TRÉFILÉS À FROID.

On a pu montrer au moyen du microscope le processus d'écoulement à froid de métaux tels que le cuivre, le zinc et l'aluminium, à travers une filière. Ce processus est absolument analogue à celui décrit par Tresca pour ses empilages de rondelles de métaux divers.

On a, par la même occasion, pu montrer l'action excellente de ce traitement mécanique sur des métaux tels que le zinc, on a déterminé ensuite les températures qui amènent le revenu, c'est-à-dire l'adoucissement de ces métaux écrouis, températures qui sont de 100 degrés pour le zinc, 300 degrés pour le cuivre et 250 degrés pour l'aluminium.

VII. — ÉTUDE DES CONSTITUANTS DES ACIERS TREMPÉS.

Dans un long travail, nous avons examiné la façon dont se forment les constituants des métaux ferreux trempés possédant depuis la plus haute jusqu'à une basse carburation. Nous avons cru pouvoir montrer que c'est à la dissolution de la cémentite et à la formation concomitante de carbone libre qu'il fallait rapporter toutes les modifications constatées dans la structure microscopique des aciers trempés.

Cette étude nous a donné l'occasion de mettre en évidence une structure de transition, à laquelle nous avons donné le nom d'osmondite, en même temps que M. Heyn, de Berlin, donnait le même nom à une structure similaire.

Ces phénomènes de la trempe sont fort confus et ne nous paraissent pas susceptibles d'être élucidés sans l'aide de l'analyse chimique.

VIII. — ALLIAGE DE CUIVRE ET D'ALUMINIUM TREMPANT.

Nous avons eu l'occasion d'étudier un cupro-aluminium à 10 0/0 d'aluminium qui prenait nettement la trempe et se présentait en aiguilles comme la martensite de l'acier trempé (*fig. 12, Pl. 189*) ; le fait était peu connu quand nous l'avons signalé. Aujourd'hui on s'aperçoit que beaucoup d'alliages sont dans le même cas.

IX. — ACIERS AU CUIVRE.

Une très grande étude a été entreprise sur 28 aciers au cuivre et nous a montré qu'on peut allier d'autant plus de cuivre à l'acier que ce dernier contient moins de carbone. Le maximum de cuivre qu'on peut allier est d'ailleurs de 4 à 5 0/0 et les aciers ainsi obtenus ont d'aussi bonnes qualités que les aciers au nickel à même teneur en nickel.

Le cuivre n'est donc pas néfaste, comme on l'a cru longtemps, au moins quand il est incorporé à de bons aciers courants (1). Le cuivre fait baisser les points singuliers des aciers avec leur résistance, et se liquate dès une teneur de 8 0/0 ; il réduit considérablement la conductibilité des aciers.

X. — ÉTUDES SUR LE CAOUTCHOUC (2).

Dans une première étude, nous avons essayé de résumer les règles usuelles se rapportant aux essais mécaniques du caoutchouc. Dans une autre étude, nous avons suivi au microscope les phénomènes de la vulcanisation en fonction du temps. La diffusion et la fixation du soufre dans la gomme se produit par étapes et par irradiations partant de centres dans lesquels la sulfuration est maxima (*fig. 13 et 14, Pl. 189*). Nous avons pu montrer la constitution hétérogène de l'ébonite qui, en apparence, paraît si homogène.

(1) Voir *Journal of the Iron and Steel Institute*, 1906.

(2) *Le Caoutchouc et la Gutta-percha*, 1904 à 1909.

XI. — ESSAIS D'HUILES AU FROTTEMENT.

Nous avons consacré quelques pages à mettre en évidence les particularités du frottement de lubrifiants divers purs ou additionnés de liquides variés. Nous avons parlé de cette question plus haut; elle fait actuellement l'objet d'études approfondies.

Il resterait à parler de bien d'autres travaux d'ordre secondaire qu'incidemment nous avons été appelés à faire, mais nous craignons d'abuser de la bienveillance du lecteur par cet exposé trop succinct.

Nous terminerons en montrant par quelques exemples combien le microscope est un instrument de valeur pour l'explication de certains défauts qui ont amené des ruptures de pièces en service et pour la mise en évidence de ce que l'on doit craindre avant tout : la fissure interne.

Voici (*fig. 15, Pl. 189*) une photomicrographie de tôle d'acier mise, schisteuse qui montre une fissure s'élevant de mise en mise à travers toute l'épaisseur de la tôle; cette fissure a été créée par un martelage incorrect pratiqué dans un métal particulièrement sujet à se détériorer (*fig. 16, Pl. 189*).

Voici (*fig. 17, Pl. 189*) une autre fissure qui s'est produite entre une mise d'acier doux et une mise en fer d'un essieu, paqueté avec les mises différentes et qu'un service trop dur a fait ouvrir en divers points.

Une autre fissure non reproduite ici passe dans la ligne de jonction de deux parties d'un essieu en acier dont l'une des parties nous paraît avoir été cémentée et trempée, tandis que l'autre n'a pas eu, par hasard, ce traitement.

Un fil de laiton, exagérément écroui dans un angle vif, montre (*fig. 18, Pl. 189*) une fissure qui s'est amorcée dans cet angle et tout le long de laquelle les intempéries, auxquelles le fil était soumis, ont exercé un effet de destruction.

Voici une soudure mal réussie dans une pièce d'acier qui, du fait de la scorie contenue dans la soudure, ne sera pas longue à se rompre.

Voici des rivets d'antidérapants qu'on a oublié de cémenter et qui ne montrent aucune couche de métal carburé sur les bords de leur section longitudinale; ce photogramme a mis fin à une discussion à leur sujet.

La figure 19 (*Pl. 189*) montre des tapures qui se sont produites dans la trempe d'un acier dur. Ces fissures ont suivi la cristallisation prise par cet acier vraisemblablement à la suite d'un chauffage exagéré.

Les figures 20 à 24 (*Pl. 189*) montrent les graves conséquences que des fissures fines superficielles se formant sur la surface de roulement de rails usagés, peuvent avoir. La figure 20 montre à 50 diamètres une de ces fissures naissant dans la couche supérieure écaillée du rail. La figure 21 montre la surface réelle de ce rail corrodée par un acide. La figure 22 montre les résultats de la flexion du rail suivant qu'on fait travailler ou non à l'extension la couche écaillée et fissurée; dans le premier cas, on a une rupture sans déformation. La figure 23 montre une cassure de ce rail dans une des petites fissures. On y voit nettement les parties altérées. Enfin la figure 24 montre à 200 diamètres la structure du champignon du rail avec des inclusions de sulfure de manganèse qui sont l'indice d'un métal médiocre. Ce rail s'était brisé en service et avait provoqué un grave accident.

Nous pourrions encore multiplier les exemples, mais nous croyons devoir arrêter là cette longue énumération d'essais qui, nous osons l'espérer, n'aura pas le malheur de paraître fastidieuse. Nous avons voulu, en la présentant, laisser l'impression qu'on peut faire beaucoup de choses avec un matériel et des moyens même modestes. Les bienveillants appuis que le Laboratoire a eu le bonheur de trouver auprès de la Société des Ingénieurs civils, nous faisaient un devoir de montrer, pour notre part, par la présentation rapide des travaux accomplis à notre section, que notre rôle n'avait peut-être pas été inutile à la collectivité. La parole m'ayant été confiée, le premier, pour exposer nos efforts de tous les jours, je saisis, avec l'assentiment de mes chefs, l'occasion qui m'est offerte d'être l'interprète heureux et honoré de la reconnaissance profondément sincère du Laboratoire d'Essais envers la Société des Ingénieurs Civils de France, à qui revient une partie de la bonne opinion que nos travaux ont pu nous valoir dans les milieux industriels.





FIG. 1. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.

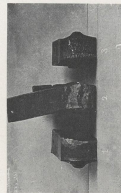


FIG. 2. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.

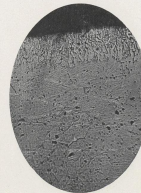


FIG. 3. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.



FIG. 4. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.



FIG. 5. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.



FIG. 6. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.



FIG. 7. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.



FIG. 8. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.

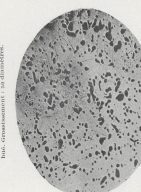


FIG. 9. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.



FIG. 10. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.



FIG. 11. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.



FIG. 12. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.



FIG. 13. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.



FIG. 14. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.



FIG. 15. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.

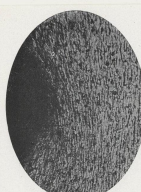


FIG. 16. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.

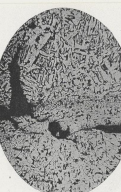


FIG. 17. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.



FIG. 18. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.



FIG. 19. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.

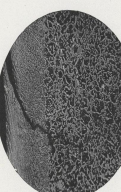


FIG. 20. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.

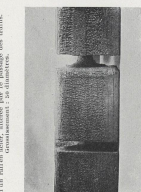


FIG. 21. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.



FIG. 22. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.



FIG. 23. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.



FIG. 24. — Miroir à 1000 fois. C'est une surface usinée.
— Granulométrie : 10 divisions.

