

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](#).
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

NOTICE DE LA GRANDE MONOGRAPHIE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Auteur collectif
Auteur(s)	Auteur collectif
Titre	Conférences du dimanche
Adresse	Paris : Librairie de l'enseignement technique : Cnam, 1920-1926
Collation	23 vol.
Nombre de volumes	23
Sujet(s)	Sciences et industrie
Notice complète	0
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?12KY48_2CC20
LISTE DES VOLUMES	
	Conférence faite le 11 janvier 1920 sur les métallurgies
	Conférence sur l'aviation faite le 18 janvier 1920
	Conférence sur les recherches et les inventions faite le 25 janvier 1920
	Conférence faite le 1er février 1920 sur l'évolution du matériel d'artillerie
	Conférence faite le 15 février 1920 sur les chars d'assaut : historique technique, historique tactique, vues d'avenir
	Conférence faite le 22 février 1920 sur le service géographique de l'armée pendant la guerre
	Conférence faite le 29 février 1920 sur la fabrication des poudres et explosifs
	Conférence faite le 7 mars 1920 sur les radio-éléments et leurs applications
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	Conférence faite le 14 mars 1920 sur la chimie de guerre : les gaz de combat
	Conférence faite le 21 mars 1920 sur le rôle du laboratoire d'usine
	Conférence sur les industries chimiques faite le 28 mars 1920
	Conférence faite le 16 janvier 1921 sur l'aide des colonies au relèvement de l'industrie nationale
	Conférence faite le 23 janvier 1921 sur les moteurs à combustion
	Conférence faite le 23 janvier 1921 sur les chemins de fer pendant et après la guerre
	Conférence faite le 30 janvier 1921 sur les richesses de l'Alsace et de la Lorraine
	Conférence faite le 13 février 1921 sur l'utilisation du combustible dans la métallurgie
	Conférence faite le 20 février 1921 sur la Roumanie nouvelle
	Conférence faite le 6 mars 1921 sur les banques d'émission et la guerre
	Conférence faite le 6 mars 1921 sur l'aluminium : emplois industriels du métal et de ses principaux alliages
	Conférence faite le 20 mars 1921 sur la valorisation du travail humain
	Conférence faite le 19 mars 1922 sur une mission au Canada
	Conférence faite le 2 avril 1922 sur l'état actuel de la télégraphie et de la téléphonie sans fil
	La structure de la matière et l'électricité [14 février 1926]

NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ	
Auteur(s) volume	Auteur collectif
Titre	Conférences du dimanche
Volume	Conférence faite le 14 mars 1920 sur la chimie de guerre : les gaz de combat
Adresse	Paris : Librairie de l'enseignement technique, 1920
Collection	La science et l'industrie françaises pendant la guerre : leur rôle dans l'œuvre de renaissance économique de notre pays, 10 [9]
Collation	1 vol. (44 p.) : ill. ; 19 cm
Nombre de vues	48
Cote	CNAM-BIB 12 Ky 48 (9)
Sujet(s)	Armes chimiques -- France -- 1900-1945 Art et science militaires -- France -- 1900-1945 Gaz de combat -- France -- 1900-1945 Guerre mondiale (1914-1918) -- France -- Guerre chimique Guerre mondiale (1914-1918) -- Influence
Thématique(s)	Histoire du Cnam
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	29/10/2026
Date de génération du PDF	29/10/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	https://www.sudoc.fr/11908094X
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?12KY48.9

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

LA SCIENCE ET L'INDUSTRIE FRANÇAISES PENDANT LA GUERRE
LEUR RÔLE DANS L'ŒUVRE DE RENAISSANCE ÉCONOMIQUE DE NOTRE PAYS

Conférence faite le 14 Mars 1920

SUR LA

CHIMIE DE GUERRE

LES GAZ DE COMBAT

PAR M. CHARLES MOUREU

Membre de l'Institut,
Professeur au Collège de France.



PARIS

LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

3 bis, rue Thénard (V°)

—
Tous droits réservés



CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

292, rue Saint-Martin, Paris (3°).

Le Conservatoire national des Arts et Métiers comprend :

1° Un **musée industriel** contenant des collections uniques d'appareils et de modèles dont le nombre s'élève à plus de 15 000 et parmi lesquels se trouvent des objets historiques de la plus haute importance.

2° Un **enseignement public et gratuit** pour l'application des sciences aux arts industriels et ne comprenant pas moins de 23 cours :

Géométrie appliquée aux arts. — Mécanique. — Machines. — Physique appliquée aux arts. — Électricité industrielle. — Métallurgie et travail des métaux. — Chimie générale dans ses rapports avec l'industrie. — Chimie agricole et analyse chimique. — Chimie industrielle. — Chimie appliquée aux industries des matières colorantes. — Chimie appliquée aux industries des chaux et ciments. — Filature et tissage. — Constructions civiles. — Art appliqué aux métiers. — Agriculture. — Économie industrielle et statistique. — Assurance et Prévoyance sociales. — Associations ouvrières. — Hygiène industrielle. — Économie sociale. — Droit commercial. — Géographie commerciale et industrielle. — Économie politique.

En outre, des conférences sur des sujets d'actualité sont faites dans le courant de l'année.

3° Un **enseignement pratique** donné dans la journée et qui constitue une préparation directe à l'industrie.

Cet enseignement porte actuellement sur les machines, la métallurgie, la mécanique, la physique, l'électricité industrielle, la filature et le tissage.

4° Une **bibliothèque** contenant une riche collection d'ouvrages relatifs aux sciences, aux arts, à l'agriculture et à l'industrie et renfermant environ 53 000 volumes ou cartes. C'est un centre de documentation pour les industriels, les commerçants, les ouvriers; les étudiants, les élèves des grandes Écoles y trouvent aussi les ouvrages utiles à leurs études.

5° Un **laboratoire d'essais industriels** dont le but est de permettre aux Services de l'État, aux industriels, commerçants et particuliers de soumettre les produits bruts ou manufacturés de toute nature, les machines et les appareils, aux essais mécaniques, physiques, chimiques ou aux essais de machines susceptibles de les qualifier.

6° Un **musée de prévention des accidents du travail et d'hygiène industrielle** qui constitue une exposition permanente des appareils protecteurs et des dispositifs de sécurité et d'hygiène industrielle les plus pratiques et les plus perfectionnés.

7° Enfin un **laboratoire de recherches sur le travail professionnel** qui poursuit l'application, au monde économique, des méthodes de discipline et d'ordre de l'activité humaine. Le but à atteindre est le rendement social maximum; les moyens sont dans l'organisation de l'outillage et de la main-d'œuvre, et, avant tout, de l'apprentissage.

LA SCIENCE ET L'INDUSTRIE FRANÇAISES
PENDANT LA GUERRE

LA
CHIMIE DE GUERRE
LES GAZ DE COMBAT

120 Ky 48 (9)
CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

Conférence faite le 14 Mars 1920

SUR LA

CHIMIE DE GUERRE

LES GAZ DE COMBAT

M. Charles MOUREU

Membre de l'Institut,
Professeur au Collège de France.



LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

3 bis, Rue Thénard, PARIS, V°

1920

TOUS DROITS RÉSERVÉS

Mesdames, Messieurs,

L'accouplement des mots *Chimie* et *Guerre*, avant la Guerre de 1914-1918, eût généralement paru dénué de sens. Sans doute l'usage de la poudre à canon est fort ancien, et, d'un point de vue très général, les transformations profondes de la matière, domaine propre de la Chimie, qui sont l'essence même de la vie, qui engendrent l'énergie et constituent une source intarissable de forces naturelles, se trouvent nécessairement à la base de toutes les manifestations de l'activité, depuis les plus pacifiques jusqu'aux plus violentes. Mais on ne saurait contester qu'il n'y ait loin de cette vue philosophique des choses aux réalités chimiques de la Grande Guerre.

La Chimie, dans les convulsions titanesques qui viennent de bouleverser l'Humanité, a joué un rôle actif de premier plan, visible pour les plus ignorants et les plus sceptiques, visible pour tous. Il n'est personne, dans les nations civilisées, qui ne frémissent d'horreur à la seule pensée des gaz asphyxiants; mais ils sont nombreux ceux qui ne connaissent de la Chimie de guerre que la mise en œuvre de ces effroyables substances. S'il est manifeste que les

gaz asphyxiants symbolisent, aux yeux de la foule, la part de la Chimie dans la lutte mondiale, il s'en faut de beaucoup que la production de ces matières ait été son unique champ d'action. Sans parler des explosifs aux effets si puissants, dont l'utilisation dans les travaux de la paix a du reste tant contribué au progrès, une infinité d'autres produits ont été l'objet, de la part des chimistes, d'efforts aussi constants et nécessaires qu'ils sont méconnus du public. Lorsque, par exemple, un aéroplane traverse le ciel, sur les milliers de spectateurs qui l'observent et chantent les légitimes louanges de l'ingénieur, combien s'en trouve-t-il qui songent aux mérites du chimiste? Et cependant, chacun des organes de l'appareil volant a exigé des études chimiques du caractère le plus approfondi, depuis celles qui concernent le métal dont est fait le moteur jusqu'aux vernis et enduits qui confèrent aux ailes l'imperméabilité et la rigidité indispensables. Que si, en l'occurrence, la part contributive du chimiste, pourtant essentielle, échappe entièrement au public, c'est surtout, sans doute, parce que le public est uniquement impressionné par le mouvement des hélices; mais c'est aussi, il importe de le dire, parce que le chimiste, homme modeste, poursuit sa tâche dans la solitude et le mystère du petit et obscur laboratoire de l'usine, loin de tout ce qui extériorise le mérite; et c'est encore parce que, le voulût-il, il ne trouverait que difficilement des interlocuteurs capables de comprendre ses recherches et de s'y intéresser. Quoiqu'il en soit, c'est l'évidence même que fort peu de gens se doutent que la Chimie soit pour quelque chose dans la conquête de l'air par le plus lourd que l'air;

et nous pouvons ajouter, sans sortir du domaine particulièrement suggestif de la Mécanique, que l'ignorance générale n'est pas moindre relativement à ce que lui doit l'automobilisme. Or, l'automobilisme et l'aviation, dont les progrès se faisaient à pas de géants, n'ont-ils pas compté parmi les grands rouages du machinisme militaire? Pour peu que l'on voulût porter ailleurs le regard et la réflexion, les exemples se présenteraient innombrables à l'appui de cette affirmation qu'entre toutes les sciences la Chimie est celle dont les applications, au cours de la plus vaste expérience qu'ait jamais faite l'Humanité, ont offert un incontestable caractère d'universalité.

J'aurais souhaité pouvoir vous entretenir, ne fût-ce que sommairement, des grands problèmes de tous ordres que la Guerre a posés aux chimistes. Si je ne puis songer à le faire ici, il m'a semblé qu'il fallait s'efforcer d'en saisir le public par quelque autre manière, et je me permets de vous indiquer que j'ai résolu d'écrire, sur « la Chimie et la Guerre » et sur les leçons à en tirer pour l'avenir, un ouvrage de propagande traitant la question dans son ensemble; cet ouvrage, je l'espère, verra bientôt le jour.

Dans cette brève causerie, forcé de me limiter, je vous parlerai uniquement des « gaz de combat ». Vous verrez quel terrible danger nous avons couru, quel effort magnifique, pleinement couronné de succès, a été accompli dans nos laboratoires et nos usines. Vous en déduirez vous-même les conclusions qui s'en dégagent en ce qui touche l'avenir de notre pays.

Introduction.

Par les actes de la Haye du 29 juillet 1899, toutes les nations européennes s'étaient interdit l'emploi de projectiles « qui ont pour but unique de répandre des gaz asphyxiants ou délétères ».

Et, cependant, le 23 avril 1915, vers cinq heures du soir, un épais nuage de vapeurs lourdes, d'un vert jaunâtre, sortait des tranchées allemandes entre Bixschoote et Langemark (Belgique), et, poussé par la brise, arrivait sur les lignes alliées, suivi par des contingents ennemis, qui s'avançaient en tirant des coups de fusil.

Toute une division française fut atteinte. Sans aucune protection, malgré la toux et les suffocations violentes, beaucoup d'hommes tinrent bon devant la vague allemande; mais leur héroïque ténacité fut payée de leur vie.

L'Allemagne venait d'inaugurer la guerre des gaz par une nouvelle violation flagrante de ses engagements internationaux.

Avant d'entrer dans l'histoire des faits qui furent la conséquence de cet important événement, il est nécessaire d'exposer quelques notions techniques.

1. — Tout d'abord : Qu'est-ce qu'un gaz ?

Au point de vue où l'on se place sur le champ de bataille, un « gaz » est un corps gazeux ou un mélange soit de gaz proprement dits, soit de liquides pulvérisés ou vaporisés, soit de corps solides très divisés, qui rendent l'atmosphère nocive

ou irrespirable. La guerre des gaz utilise, en effet, les réactions que les différentes substances chimiques peuvent provoquer sur l'organisme humain.

D'après la nature de ces réactions on classe les produits en plusieurs catégories, un corps déterminé pouvant se ranger soit dans une seule, soit dans plusieurs d'entre elles. On distingue ainsi, d'après leur action prépondérante :

1° Les suffocants, qui, par réaction sur le système pulmonaire, provoquent la toux et peuvent amener la mort par asphyxie due à des lésions pulmonaires ;

2° Les toxiques, qui, pénétrant dans l'organisme et y atteignant tel ou tel organe essentiel, provoquent secondairement des accidents généraux ; certains d'entre eux, par exemple, touchent particulièrement le système nerveux, certains autres les globules rouges du sang ;

3° Les lacrymogènes, qui, par réaction sur l'œil, provoquent le larmolement et, de ce fait, mettent l'homme dans l'impossibilité de voir pendant un temps plus ou moins long ;

4° Les vésicants, qui, par réaction sur la peau, provoquent soit du prurit, soit des manifestations cutanées plus profondes, telles que l'apparition de phlyctènes, et qui peuvent, en outre, en agissant sur les différentes muqueuses, et notamment sur celles des voies respiratoires, déterminer des lésions analogues ;

5° Les sternutatoires, qui, par réaction sur la muqueuse nasale, provoquent des éternuements s'accompagnant de manifestations secondaires : irritation de la gorge et larmolement des yeux, douleurs dans le nez et les maxillaires.

Les produits suffocants et les produits toxiques ont été confondus pendant la Guerre sous la dénomination générale de « toxiques », parce qu'ils étaient tous susceptibles de provoquer la mort. Il en fut de même de certains autres corps susceptibles de tuer, bien que leur propriété physiologique prépondérante consiste en un pouvoir vésicant ou sternutatoire.

2. — A un autre point de vue, les « gaz » se classent encore en deux catégories : ils sont fugaces ou persistants, suivant la durée de temps pendant laquelle ils subsistent sur le terrain. Ces propriétés sont utilisées par l'artilleur pour atteindre des résultats déterminés. Ainsi l'interdiction d'une route par les gaz pourra être obtenue au moyen d'obus à effets persistants; au contraire, le bombardement par obus à gaz d'une position à prendre ensuite d'assaut devra être exécuté avec des obus à chargement fugace.

L'innovation de la guerre des gaz par l'Allemagne trouva la France complètement dépourvue. A ce moment, en effet, l'armée française n'avait dans son matériel de guerre ni obus à gaz, ni engins d'émission de gaz, ni même d'appareils de protection; il fallut tout créer et tout organiser, aussi bien à l'intérieur qu'aux armées. A l'intérieur il y eut, sous la haute direction du général Ozil, des organes d'études et des organes de fabrication¹, et, sur le

1. Les organes d'études étaient dirigés par le général Perret, que secondait le professeur Terroine, et les organes de fabrication par le colonel Vinet (en dernier lieu par le colonel Taffanel).

front, des services particuliers, en liaison constante avec ceux de l'intérieur, furent chargés de toutes les questions spéciales relatives à la guerre des gaz. On établit, en outre, des relations permanentes entre les services français des gaz et ceux des armées alliées.

Il fallut envisager dès le début deux problèmes distincts : protéger les troupes et riposter. Nous allons les examiner successivement.

I. — Le problème de la protection.

Le problème de la protection s'est compliqué de plus en plus au cours de la Guerre, par suite de la multiplicité des gaz employés. Réduit tout d'abord à la protection de l'homme, il s'étendit peu à peu à la protection du cheval, du chien de guerre et des pigeons voyageurs. Vous me permettrez de me limiter ici à la protection de l'homme, évidemment la plus importante. Elle se présente sous deux aspects : la protection individuelle et la protection collective, que nous allons étudier successivement, après avoir, tout d'abord, fait connaître la nature des gaz mis en œuvre par l'ennemi. Nous donnerons, pour terminer, quelques indications sur les fabrications industrielles.

A. — LES GAZ EMPLOYÉS PAR L'ALLEMAGNE.

1. — L'Allemagne a fait appel, au cours de la Guerre à toutes les propriétés physiologiques des « gaz »,

augmentant ainsi sans cesse les causes de souffrances des combattants.

La guerre des gaz commence le 22 avril 1915 par l'emploi d'un suffocant. Le chlore, à l'état liquide, était introduit dans des cylindres, qui, par simple ouverture d'un pointeau, les laissaient se dégager à l'état gazeux. Les différents jets de gaz, provenant des nombreux cylindres mis en œuvre, formaient rapidement un nuage continu, auquel on donna le nom de « vague ».

Le mois de juin 1915 vit apparaître le brome, autre suffocant, employé en projectiles de minenwerfer, et un lacrymogène : le bromure de benzyle $C^6H^5-CH^2Br$, mélangé à du bromure de xyle

$C^6H^4 > (CH^2Br)^2$, chargé en projectiles d'artillerie. L'emploi des gaz en projectiles d'artillerie, qui devait prendre des proportions si considérables, s'observait ainsi, pour la première fois, d'une façon très nette, le 20 juin, dans le bois de la Gruerie, en Argonne; mais depuis plusieurs mois, en particulier depuis le milieu de mars, l'emploi par l'ennemi d'obus lacrymogènes, par coups isolés, tirés sur des positions de batterie, était soupçonné.

L'année 1915 et les années suivantes virent apparaître une série de composés nouveaux. Voici le tableau des divers gaz employés par l'Allemagne, avec leurs propriétés physiologiques et leurs dates d'apparition :

Gaz de combat employés par l'Allemagne.

DATES D'APPARITION SUR LE CHAMP DE BATAILLE	GAZ	FORMULE CHIMIQUE	PROPRIÉTÉS PHYSIOLOGIQUES
1915. Avril.	Chlore (gaz).	Cl^2	Suffocant.
— Juin.	Brome (liquide).	Br^2	Suffocant.
1915. Juin (soupçonné depuis longtemps.)	Bromure de benzyle (liquide).	$\text{C}^6\text{H}^5-\text{CH}^2\text{Br}$	Lacrymogène.
1915. Juillet.	Bromacétone (liquide).	$\text{CH}^3-\text{CO}-\text{CH}^2-\text{Br}$	Suffocant et lacrymogène.
— Août.	Chlorosulfonate de méthyle (liquide).	$\text{SO}^2 \begin{array}{l} \diagup \text{Cl} \\ \diagdown \text{OCH}^3 \end{array}$	Suffocant.
— Août.	Chloroformiate de chlorométhyle (liq.).	$\text{Cl}-\text{COOCH}^2\text{Cl}$	Suffocant.
1916. Juillet.	Bromométhyl-éthylcétone (liquide).	$\text{CH}^3-\text{CO}-\text{CHBr}-\text{CH}^3$	Suffocant et lacrymogène.
1916. Décembre.	Chloroformiate de trichlorométhyle (liq.).	$\text{Cl}-\text{COOCCl}^3$	Suffocant.
1917. Mai.	Phosgène (gaz).	COCl^2	Suffocant.
—	Chloropierine.	CCl^3-NO^2	Suffocant et lacrymogène.
— Juillet.	Sulfure d'éthyle dichloré (Ypérite (liq.)).	$\text{S} \begin{array}{l} \diagup \text{CH}^2-\text{CH}^2\text{Cl} \\ \diagdown \text{CH}^2-\text{CH}^2\text{Cl} \end{array}$	Suffocant, lacrymogène et vésicant.
— Septembre.	Diphénylchloroarsine (solide).	$(\text{C}^6\text{H}^5)^2\text{AsCl}$	Suffocants et sternutatoires (d'abord en mélange, puis au sein d'un explosif).
—	Phényldichloroarsine (liquide).	$\text{C}^6\text{H}^5\text{AsCl}^2$	
— Septembre.	Chlorure de phénylcarbylamine (liq.).	$\text{C}^6\text{H}^5-\text{N}=\text{C}=\text{Cl}^2$	Nauséux et toxique.
1918. Avril.	Oxyde de méthyle dichloré (liquide).	$\text{CH}^2\text{Cl}-\text{O}-\text{CH}^2\text{Cl}$	Sans action appréciable sur l'organisme humain.
— Avril.	Dichloroéthylarsine (liquide).	$\text{C}^2\text{H}^5-\text{AsCl}^2$	Sternutatoire et toxique.
— Avril.	Dibromoéthylarsine (liquide).	$\text{C}^2\text{H}^5\text{AsBr}^2$	Sternutatoire et toxique.
— Juin.	Cyanure de diphénylarsine (solide).	$(\text{C}^6\text{H}^5)^2\text{AsCN}$	Sternutatoire.
— Septembre.	N. éthylcarbazol (solide).	$\text{C}^6\text{H}^4 \begin{array}{l} \diagup \text{C}^6\text{H}^4 \\ \diagdown \text{NC}^2\text{H}^3 \end{array}$	Sternutatoire.

Certains de ces produits furent employés seuls, mais la plupart furent utilisés sous la forme de mélanges. Ainsi le phosgène fut employé seul en projectiles de minenwerfer et en mélanges dans des obus, tel le mélange suivant : phosgène 50 p. 100, chloroformiate de trichlorométhyle 30 p. 100, diphénylchloroarsine 20 p. 100. Le chloroformiate de trichlorométhyle fut également employé en mélange à 50 p. 100 avec la chloropicrine, etc.

2. — Tous ces produits furent soumis à un examen minutieux de la part des chimistes français.

Pour l'étude des gaz des vagues, des appareils de prélèvement et de détection particulièrement sensibles, fonctionnant par aspiration, étaient disposés dans les premières lignes des secteurs susceptibles de subir des attaques par vagues.

Les obus allemands à gaz n'ayant pas éclaté étaient envoyés, par l'intermédiaire des officiers-chimistes, au laboratoire municipal de Paris. Le contenu y était étudié sous la direction de M. Kling, et, en outre, une seconde analyse, qui contrôlait la précédente, était effectuée par les soins du professeur Grignard, à la Sorbonne. Lorsqu'un produit nouveau était signalé, des échantillons étaient adressés aux laboratoires des professeurs Lebeau (École supérieure de Pharmacie), Desgrez (Faculté de Médecine), Mayer (Collège de France), Achard (Faculté de Médecine), pour examen de la protection conférée par les appareils français et de la valeur des méthodes de protection collective contre ce produit, d'une part, et pour la détermination des actions

physiologiques et l'établissement du traitement thérapeutique, de l'autre.

3. — Les moyens d'attaque de l'ennemi ne retinrent pas seuls l'attention. Les appareils allemands de protection capturés sur les prisonniers, ou faisant partie du butin pris par nos armées, furent également étudiés avec le plus grand soin.

B. — PROTECTION INDIVIDUELLE.

Elle a deux buts distincts : protéger les voies respiratoires et les yeux, d'une part, et protéger la peau, d'autre part :

a) *Protection des voies respiratoires et des yeux.*

1. — Comme il était à prévoir, on employa, au début, des moyens de fortune : tampon imprégné d'un mélange d'hyposulfite et de carbonate de soude dissous dans de l'eau glycérinée, contre le chlore ; lunettes pour la protection des yeux, contre le brome de benzyle. On s'aperçut bientôt que le brome de benzyle, outre les yeux, n'était pas sans irriter aussi les voies respiratoires. M. Lebeau fit adopter en juillet 1915 un tampon de gaze imprégnée d'huile de ricin et de ricinate de soude, qui protégeait à la fois contre le chlore et contre le brome de benzyle.

Mais il y avait lieu de prévoir une aggravation des moyens d'attaque de l'ennemi et, en particulier, l'emploi du phosgène. On adopta l'utilisation, contre

ce dernier corps, du sulfanilate de soude, préconisé par MM. Henri et Kling (août 1915).

A la même époque, craignant l'emploi par l'ennemi de l'acide cyanhydrique, on mit à l'étude la protection contre ce corps. Elle fut obtenue au moyen d'acétate basique de nickel, proposé par M. Plantefol, du laboratoire du professeur Simon (août 1915), et remplacé, dans la suite, sur la proposition de M. Lebeau et pour des raisons d'ordre pratique, par le carbonate basique du nickel. En vue d'une protection plus efficace contre le phosgène, et aussi en vue de protéger contre d'autres corps, notamment contre les chloroformiates de méthyle chlorés, M. Lebeau ajouta au sulfanilate de soude l'urotropine. Il y eut, au total, deux compresses superposées, l'une au ricin-ricinate et l'autre au carbonate de nickel-urotropine-sulfanilate.

Pendant trente-six mois, les éléments chimiques d'épuration ne subirent aucune modification. Il n'en fut pas de même de la forme de l'appareil de protection. Beaucoup de modèles furent proposés, notamment par MM. Javillier, Banzet, Borrel, Tambuté, Gravereaux. Après de longs tâtonnements, on s'arrêta, à la fin de 1915, à un modèle dit masque M₂, lequel, constitué d'une seule pièce et n'étant en contact avec la peau que par son contour, protégeait à la fois les yeux et les voies respiratoires et présentait une grande surface filtrante.

2. — Le masque M₂ fut utilisé jusqu'en février 1918 par les troupes combattantes, jusqu'à l'armistice par les troupes de l'arrière et la population civile des zones d'alerte. Mais la possibilité de l'emploi

par l'ennemi de composés agressifs imprévus, contre lesquels le système chimique filtrant dont nous disposions dans le masque M₂ aurait pu être inefficace, conduisit M. Lebeau, dès la fin de 1915, à étudier un appareil de protection dont la polyvalence fût aussi étendue que possible. Il envisagea un appareil basé à la fois sur des phénomènes de neutralisation chimique et d'absorption physique. Deux années d'études aboutirent à l'appareil dit A. R. S. Le système comprenait trois couches : la première, composée d'oxyde de zinc, de carbonate de soude sec et de charbon de bois pulvérisé, le tout aggloméré par de l'eau glycinée; la seconde, constituée par un charbon fortement absorbant; une troisième, faite de gaze imprégnée d'urotropine. Dans la suite, on ajouta à ces matières du permanganate de potasse, pour protéger contre de fortes concentrations en phosgène, et l'on utilisa, en outre, une couche de coton, pour arrêter les fines poussières d'arsines solides. Cet appareil constitue sans contredit le meilleur qui ait été employé par les armées belligérantes. Il fut mis en service à partir de février 1918.

3. — D'autres appareils, destinés spécialement à la protection contre les fortes concentrations et établis d'après des principes assez divers, furent également utilisés. Citons, pour mémoire, l'appareil Tissot, qui rendit jusqu'à la fin de très grands services.

Mentionnons également que la protection contre l'oxyde de carbone fut réalisée par MM. Desgrez, Guillemard et Labat, dans un appareil où ce gaz

était oxydé en gaz carbonique par de l'anhydride iodique et le gaz carbonique fixé par de l'oxylithe (bi-oxyde de sodium).

b) *Protection de la peau.*

Un problème nouveau surgit en juillet 1917, lors de l'apparition du sulfure d'éthyle dichloré (ypérite) : celui de la protection de la peau. Ce corps, en effet, jouit de propriétés vésicantes très actives. De plus, au point de vue militaire, il se classe parmi les produits persistants, c'est-à-dire qu'il subsiste pendant longtemps sur le sol. Il en résultait que lorsqu'une certaine surface était « ypéritée », nul ne pouvait y séjourner sans être atteint sur les parties de la peau non protégées par le masque ou par des vêtements imperméables.

Pour arriver à désinfecter ces surfaces, il fallait donc donner des vêtements spéciaux aux hommes chargés du nettoyage. Des études furent entreprises qui aboutirent, après de nombreuses expériences, très pénibles et très dangereuses pour les expérimentateurs, à l'adoption, en 1919, d'un vêtement en étoffe imprégnée d'huile de lin, dont la coupe était due au sergent Tambuté.

Pour la protection des surfaces cutanées contre l'ypérite, M. Desgrez donna la formule d'une pommade au chlorure de chaux, qui fut adoptée par le Service de Santé.

C. — PROTECTION COLLECTIVE.

Les problèmes de la protection collective furent toujours très ardues, et ils se compliquèrent encore lors de l'apparition de l'ypérite, en juillet 1917, sur le champ de bataille.

On peut les ramener à trois objets principaux :

1° Assainir les tranchées et abris envahis par les gaz ;

2° Constituer des abris dans lesquels les gaz ne pourront pas pénétrer ;

3° Assainir des surfaces infectées par l'ypérite.

Les deux premiers problèmes se posèrent dès le 22 avril 1915. L'expérience montra, en effet, qu'après le passage d'une vague, lorsque l'atmosphère est redevenue respirable, toutes les excavations de terrain, et par conséquent les tranchées et abris, étaient encore infectées par les gaz pendant un certain temps. Il fallut chercher un moyen d'éliminer ces gaz restants. La question fut étudiée et résolue en mai-juin 1915 par M. Desgrez et ses collaborateurs, qui préconisèrent l'emploi de pulvérisations de solutions aqueuses d'hyposulfite de soude et de carbonate de soude. Les pulvérisateurs des vigneron furent reconnus d'un usage très pratique.

Mais cette solution ne protégeait que contre le chlore (par l'hyposulfite) et contre le phosgène (par le carbonate de soude). On continua à chercher un produit qui permit de neutraliser le plus grand nombre de corps possible. Après des essais sur de nombreuses substances, M. Desgrez trouva en 1917, dans le foie de soufre, un neutralisant d'une effica-

cité très étendue; mais sa grande oxydabilité fut un obstacle à son emploi sur le front, jusqu'à ce que M. Tassilly eût trouvé un conditionnement favorable.

On résolut le deuxième problème en suspendant à l'entrée des abris deux toiles, que l'on imprégnait de la solution hyposulfitée au moment de l'usage; l'activité neutralisante des toiles était entretenue par de nouvelles pulvérisations au cours de l'attaque par gaz.

Mais cette protection n'est bonne que pour une période de courte durée. Si l'attaque par gaz se prolonge, il faut pouvoir quand même ventiler les abris. La solution de ce nouveau problème fut donnée par le professeur Lapicque dans le premier semestre de 1916 et améliorée par le docteur Leclercq dans le second semestre de la même année, à la suite d'observations personnelles de MM. du Bellay et Houdard, qui en firent part à M. Lapicque. Le principe de la méthode consiste à faire aspirer par un ventilateur placé dans l'abri, à travers des matières épurantes, l'air chargé de gaz asphyxiants, toutes les ouvertures de l'abri étant munies de deux toiles formant sacs; la surpression créée refoule les gaz asphyxiants tendant à pénétrer dans l'abri par les interstices des toiles. Les matières épurantes sont le terreau et la sciure de bois imprégnée d'huile anthracénique. Elles sont réparties par couches dans une caisse à deux compartiments.

Le problème de l'assainissement des surfaces infectées par l'ypérite fut résolu, dès l'apparition de ce corps, au laboratoire de M. Desgrez. Le chlorure de chaux, en poudre ou en solution, constituait un

neutralisant parfait. D'autre part, les effets pouvaient être désinfectés à l'eau bouillante. La question de l'hydrolyse (décomposition par l'eau) de l'ypérite fut particulièrement étudiée au laboratoire de M. Simon, qui fournit des observations fort importantes au point de vue du mode d'action de l'ypérite.

D. — LA FABRICATION INDUSTRIELLE
DES ENGINS ANTI-ASPHYXIANTS.

La protection de l'homme contre les gaz de combat n'ayant jamais été envisagée avant la guerre de 1914-1915, l'industrie française n'était pas plus préparée que les laboratoires scientifiques à cette délicate mission. Il fallut improviser en toute hâte ces fabrications entièrement nouvelles. Les services chimiques furent puissamment aidés dans cette tâche par d'habiles confectionneurs, qui surent, en quelques mois, créer l'outillage et rassembler la main-d'œuvre nécessaire. Quelques résultats indiqués ci-après témoignent de l'effort considérable réalisé par les industriels et leur personnel.

Les sachets pour imprégnation à l'hyposulfite furent fabriqués à plusieurs millions d'exemplaires.

4 500 000 tampons ricin-ricinate furent fabriqués d'août 1915 à janvier 1916, soit une moyenne de 30 000 tampons par jour. Ces appareils étaient envoyés aux armées dans des sachets spéciaux; il en fut fabriqué environ 7 millions de juillet à décembre 1915, soit, en moyenne, 40 000 par jour.

A l'origine, les lunettes étaient séparées, comme on sait, des appareils de protection des voies respi-

ratoires. Il en fut fabriqué, en différents types, environ 12 millions d'août 1915 à avril 1916, soit une moyenne de 50 000 par jour.

La fabrication du masque M₂ fut organisée dès le début de 1916. Du 1^{er} février 1916 au 11 novembre 1918, il en fut manufacturé 30 millions. Ces appareils étaient livrés dans des étuis métalliques, dont on fabriqua 12 400 000 exemplaires de septembre 1915 à septembre 1918.

Enfin la fabrication de l'appareil A. R. S. fut ordonnée le 26 février 1917. La complexité de cet engin exigeait le concours de nombreux industriels, spécialistes de la ferblanterie, des tissus imperméables, du caoutchouc, des charbons absorbants, des toiles métalliques, etc. Il fallut vaincre de grandes difficultés pour assurer l'approvisionnement en matières premières, qu'on dut en partie faire venir de l'Étranger. Les premières livraisons commencèrent en novembre 1917, et la fabrication se développa d'une façon continue jusqu'en avril 1918, où elle dépassa 25 000 par jour. Le total des appareils fabriqués de novembre 1917 à novembre 1918 approche de 5 millions. La fabrication de tous les éléments du masque A. R. S., dans la période d'activité normale, a nécessité une moyenne journalière de 12 000 ouvriers et ouvrières. Les expéditions aux armées commencèrent en février 1918; tous les combattants de première ligne en étaient munis au début du printemps.

Signalons encore qu'on fabriqua, du mois de mai 1916 à l'armistice, 700 000 appareils Tissot.

En ce qui concerne la protection collective, indiquons qu'il fut confectionné, notamment,

200 000 pulvérisateurs pour solution neutralisante, depuis le mois de mai 1915 jusqu'en septembre 1918.

II. — Le problème de l'agression.

Lorsque l'Allemagne inaugura la guerre des gaz, la France n'était pas en mesure de soutenir le combat à armes égales.

La production industrielle des usines chimiques était relativement très faible. Elle ne comprenait ni le chlore liquide ni le brome, et les quantités d'acide sulfurique alors produites étaient à peine suffisantes pour les fabrications de poudres et d'explosifs. Enfin notre industrie des corps organiques était misérable.

Les Services chimiques eurent donc à déployer des efforts exceptionnels pour doter nos armées des munitions à gaz qui leur manquaient.

Nous parlerons d'abord des produits à employer en projectiles et en vagues, et ensuite, comme dans le cas de la protection, des réalisations industrielles.

A. — PRODUITS A CHARGER EN PROJECTILES.

Trois conditions devaient être remplies par ces produits :

1° être faciles à préparer et n'exiger que des matières premières abondantes et de prix abordable ;

2° être doués de propriétés agressives intéressantes ;

3° s'adapter aux conditions d'emploi dans les projectiles.

Des études chimiques furent activement poursuivies dans divers laboratoires, dont voici les principaux : professeurs Delépine et Lebeau (École supérieure de Pharmacie); professeur Moureu (École de Pharmacie et Collège de France); professeurs Grignard et Urbain (Sorbonne); professeur Job (Conservatoire des Arts et Métiers); professeur Bertrand (Institut Pasteur); professeur Simon (École normale supérieure); M. Kling (Laboratoire Municipal). Ces laboratoires se tenaient en liaison permanente avec le laboratoire du professeur Mayer (Collège de France), qui était chargé des essais physiologiques des produits à l'étude.

1. — Le seul corps agressif dont la fabrication fût immédiatement possible, dès l'année 1915, était le tétrachlorosulfure de carbone CSCl_4 , proposé par M. Urbain; il ne nécessitait, en effet, comme matières premières, que du sulfure de carbone et du chlore gazeux. La fabrication en fut montée rapidement, et on en chargea un grand nombre d'obus pour l'offensive de Champagne en septembre 1915. Mais le faible pouvoir agressif du produit, dont l'emploi n'avait jamais eu d'autre objet que de réaliser une solution d'attente, le fit abandonner rapidement. Cette date de septembre 1915 marque le premier emploi d'obus à gaz par l'armée française.

On fabriqua vers la même époque des obus incendiaires au phosphore, proposés par M. Job, et des obus à la fois incendiaires et suffocants, contenant une solution sulfocarbonique de phosphore avec un cylindre de celluloid, suivant la formule de M. Urbain.

Un grand nombre de produits agressifs (plusieurs centaines) furent successivement étudiés dans les laboratoires jusqu'à la fin des hostilités. Il ne sera question ici que de ceux qui furent définitivement adoptés.

2. — Les corps auxquels les chimistes songèrent tout d'abord furent le phosgène et l'acide cyanhydrique. L'expérience montra immédiatement qu'il fallait alourdir leurs vapeurs insuffisamment denses, particulièrement celles de l'acide cyanhydrique, et l'on étudia le mélange de ces corps avec les chlorures d'étain, d'arsenic et de titane, dont la présence rendrait d'ailleurs l'éclatement du projectile observable, grâce à la fumée qu'ils dégageraient au contact de l'air (corps fumigènes). Dans le cas de l'acide cyanhydrique, ces chlorures jouèrent également le rôle de stabilisants.

Il fut décidé dès le commencement des études, en juin 1915, qu'un certain nombre d'obus seraient chargés avec ces substances et mis en réserve jusqu'à ce que l'ennemi utilisât lui-même ces mêmes corps ou des corps de toxicité de même ordre. L'ennemi, en juin 1915, n'employait en effet en obus que le bromure de benzyle, corps surtout lacrymogène; mais, comme on le prévoyait, il ne tarda pas à utiliser des corps de grande toxicité. Dès le mois d'août 1915, il lançait en effet sur nos troupes des obus chargés de chloroformiate de chlorométhyle, produit dont la toxicité est de l'ordre de celle du phosgène.

MM. Lebeau et Urbain proposèrent le mélange du phosgène avec du chlorure stannique ou du chlorure

d'arsenic, le chlorure de titane ne pouvant être fabriqué qu'en quantités limitées, à cause de la médiocrité de l'approvisionnement en rutile.

Quant à l'acide cyanhydrique, son emploi fut rendu possible par M. Lebeau avec le mélange dénommé « vincennite », qui contenait de l'acide cyanhydrique, du chlorure d'étain, du chlorure d'arsenic et du chloroforme.

Les premiers obus français au phosgène furent tirés à la bataille de Verdun en février 1916, et les premiers obus à la vincennite le 1^{er} juillet 1916 à la bataille de la Somme.

3. — Le Gouvernement ayant décidé, au début, de réserver l'emploi du phosgène et de l'acide cyanhydrique, ainsi qu'il a été dit précédemment, les chimistes tournèrent leurs efforts, dès juin 1915, vers la recherche d'autres corps. De nombreuses préparations furent entreprises, et, dans le troisième trimestre de 1915, trois corps furent pris en considération : l'iodacétone $\text{CH}_3\text{—CO—CH}_2\text{I}$, étudié par MM. Kling, Bertrand et Grignard; le chlorure d'orthonitrobenzyle (1) $\text{NO}_2\text{—C}_6\text{H}_4\text{—CH}_2\text{Cl}$ (2) étudié par MM. Moureu et Blanc; l'iodure de benzyle $\text{C}_6\text{H}_5\text{—CH}_2\text{I}$, étudié par MM. Moureu et Dufraisse.

Ces trois corps étaient plus ou moins fortement lacrymogènes; le chlorure d'orthonitrobenzyle seul était doué d'une certaine toxicité, en même temps que d'un certain pouvoir vésicant. Ils ne pouvaient, ni les uns ni les autres, supporter le contact du métal du projectile, et l'on fut obligé de faire des obus intérieurement recouverts de plomb. En raison des difficultés de fabrication et de chargement, du

prix élevé des dérivés iodés et de leur trop faible toxicité, il ne fut chargé qu'un nombre assez restreint de projectiles avec ces substances.

Un autre corps retint l'attention dès 1915 : la chloropierine CCl_3NO_2 , à la fois toxique et lacrymogène, proposée par MM. Haller et Moureu ; la préparation en fut étudiée par M. Bertrand et par le commandant Nicolardot. La chloropierine fut chargée en obus à partir de 1916 ; elle a figuré depuis lors en quantités importantes dans les approvisionnements de l'armée.

Dès juillet 1915, l'attention fut attirée sur l'acroléine (aldéhyde acrylique $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CHO}$), qui fut ensuite l'objet de très nombreuses études au laboratoire de M. Moureu, tant au point de vue de sa fabrication que de son mode de stabilisation. Ce corps est en effet instable, donnant très aisément naissance à un polymère, le disacryle, dénué de toutes propriétés agressives. Un mode excellent de stabilisation fut trouvé par MM. Moureu et Lepape. L'acroléine fut surtout chargée en grenades ; elle remplaça au commencement de 1916 les substances simplement lacrymogènes qui servaient jusqu'alors : la chloracétone et le bromacétate d'éthyle. Toutes les grenades furent depuis lors chargées avec ce corps éminemment toxique, lacrymogène et suffoquant, qui permit, notamment, de faire quantité de prisonniers dans les abris.

Les corps employés par les Allemands furent également l'objet de recherches dans nos laboratoires, soit en vue d'une fabrication éventuelle, soit pour les comparer avec les corps étudiés et préconisés par les chimistes français.

Le chloroformiate de chlorométhyle et l'analogue trichloré furent particulièrement étudiés par MM. Grignard et Kling. On en fabriqua de petites quantités, mais les chimistes français donnèrent définitivement leur préférence au phosgène, dont ces deux corps se rapprochent par leurs propriétés physiologiques.

La bromacétone fut étudiée par M. Moureu (avec la collaboration de MM. Boismenu et Nomblot), qui donna un procédé simple et rapide permettant d'utiliser la totalité du brome mis en œuvre; elle fut définitivement retenue au commencement de 1916. Ce corps ne supportait ni le contact du métal, ni le mélange avec les fumigènes. M. Triquet, de la cristallerie de Choisy-le-Roi, établit un procédé de verrage des obus qui donna toute satisfaction, et l'on réussit, en outre, à isoler complètement le fumigène dans une gaine émaillée.

Le bromure de benzyle fut étudié au laboratoire de M. Moureu en 1915; mais il ne fut adopté que pour la fabrication des ampoules d'exercice pour l'entraînement des troupes à la guerre des gaz.

Le chlorosulfonate d'éthyle fut étudié en 1915 au laboratoire de M. Grignard. On en fit fabriquer une certaine quantité, avec laquelle on chargea quelques obus; mais on l'utilisa surtout en bombes pour mortiers de tranchée.

Le chlorosulfonate de méthyle, qui entra dans la composition du liquide recueilli dans les projectiles allemands lancés en juillet 1915 à Neuville-Saint-Vaast, fut également étudié. La puissance lacrymogène de ce produit, son emploi par l'ennemi, et, d'autre part, la possibilité de l'obtenir à partir

d'un sous-produit d'une autre fabrication de guerre, la chlorhydrine sulfurique, engagèrent M. Simon à en entreprendre, dès octobre 1915, l'étude complète. Les essais physiologiques établirent que ce produit avait des propriétés lacrymogènes et toxiques intéressantes, supérieures à celles de son homologue le chlorosulfonate d'éthyle. Son emploi, d'abord adopté en 1915, fut écarté par la suite, lorsque l'on disposa de toxiques plus efficaces. Comme conséquences des recherches sur le chlorosulfonate de méthyle et à la suite d'un échange d'idées *a priori* entre MM. Mayer et Simon, ce dernier entreprit des recherches sur le mélange toxique de sulfate de méthyle et de chlorhydrine sulfurique, qu'on dénomma « rationite » pour rappeler son origine; il fut adopté en 1917 et expédié aux armées en 1918. Le chlorosulfonate de méthyle fut également étudié au laboratoire de M. Grignard.

En 1916, M. Job entreprenait également des recherches sur les lacrymogènes. Au mois d'août de la même année, il indiquait la préparation et les propriétés du nitrile phénylacétique- α -bromé. L'emploi de ce corps fut immédiatement adopté; mais la réalisation industrielle et le mode de chargement en obus exigèrent de longues études. Ce ne fut qu'en avril 1918 que fut proposée et adoptée la solution du problème.

Le chlorure de cyanogène fut étudié, au laboratoire de M. Simon, de février 1916 à avril 1918. La fabrication industrielle fut commencée en 1917, et l'on disposait d'un stock important d'obus au moment de l'armistice.

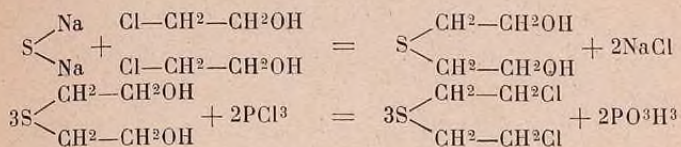
4. — De nombreuses études étaient en cours lorsqu'en juillet 1917 l'ennemi fit usage des obus au sulfure d'éthyle dichloré. Le produit fut dénommé « ypérite », parce que les premiers obus tombèrent sur la ville d'Ypres.

Ce corps n'avait pas échappé aux services chimiques français. Le médecin aide-major Chevalier avait, au commencement de 1916, attiré l'attention sur lui. Une étude chimique fut entreprise au laboratoire de M. Moureu, et une étude physiologique au laboratoire de M. Mayer. Cette substance avait déjà été décrite par le chimiste allemand Victor Meyer en 1884. Dans son mémoire, Meyer, parlant de l'action vésicante, disait qu'elle était sélective, que le corps agissait sur la peau de certains sujets et était sans action sur celle de certains autres. L'étude physiologique montra que ce corps, tout en étant très toxique, l'était notablement moins que le phosgène ou l'acide cyanhydrique alors en usage; elle mit en évidence son action vésicante, mais il fallait le génie malfaisant de l'Allemagne pour présenter l'importance de cette action sur les champs de bataille. C'est donc seulement en juillet 1917, après le bombardement d'Ypres par les Allemands¹, que le sulfure d'éthyle dichloré fut adopté comme toxique vésicant.

Aussitôt M. Moureu, avec son collaborateur M. Lazennec, continua à étudier la fabrication d'après le procédé de Meyer, lequel correspond, à

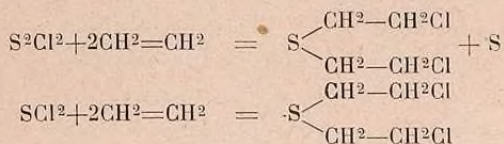
1. L'identification du produit put être faite, en quelques jours et avec une entière certitude, grâce à un échantillon très pur qu'avait gardé M. Moureu de son étude antérieure.

partir de la monochlorhydrine du glycol, au système d'équations suivant :



M. Moureu ne tarda pas à substituer avec avantage l'emploi de l'acide chlorhydrique concentré à celui du trichlorure de phosphore.

D'autre part, M. Job, avec MM. Goissedet et Guinot, entreprit l'étude des réactions qui avaient été signalées par le chimiste anglais Guthrie en 1860 :



Les difficultés rencontrées dans la préparation en grand de la monochlorhydrine de glycol incitèrent les chimistes à se tourner plutôt vers le procédé de Guthrie. L'expérience montra la justesse de leurs vues.

Au courant du mois de novembre 1917, M. Job, d'une part, et M. Bertrand, de l'autre, indiquèrent qu'il était possible d'obtenir le sulfure d'éthyle dichloré par barbotage de l'éthylène dans le chlorure de soufre. Dès cette époque, M. Job passait aux essais semi-industriels, en faisant absorber l'éthylène sous pression par le chlorure de soufre, et, le 5 décembre, il annonçait sa conviction que

cette préparation était pratiquement réalisable. Le 9 janvier 1918 il donnait ses indications au directeur d'une usine pour des essais en grand avec le monochlorure de soufre S^2Cl^2 et l'éthylène sous pression. Les essais commencèrent aussitôt dans diverses usines.

Nos alliés anglais suivaient d'ailleurs, à la même époque, une évolution semblable. Le 16 janvier, dans une note transmise à nos Services chimiques le 27, le professeur Pope annonçait des résultats analogues. Il semble cependant, ainsi que cela ressort d'une mission qui fut confiée par le général Ozil à M. Moureu, en janvier 1918, pour visiter les laboratoires anglais, et de communications faites à la Conférence interalliée de mars 1918, que les Anglais aient conservé plus longtemps que nous l'espoir de réussir la fabrication par la monochlorhydrine du glycol, et qu'ils n'aient pas manifesté à ce moment la grande confiance que nous mettions dans le procédé au chlorure de soufre. Il en résulte que la France fut, parmi les nations alliées, la première à fabriquer l'ypérite (et bientôt en quantités considérables), et qu'elle put communiquer à ses alliés les renseignements nécessaires au montage de leurs usines. Il lui fut même possible, par la suite, de céder des obus à ypérite à différentes nations : Belgique, États-Unis, Grèce, Italie.

M. Grignard et M. Simon étudièrent, indépendamment l'un de l'autre, des questions physicochimiques, concernant l'ypérite, du plus grand intérêt au point de vue de son utilisation militaire. On peut dire d'ailleurs que tous les laboratoires, à des titres divers, s'occupèrent de ce corps.

Gaz de combat employés par la France.

DATES D'APPARITION SUR LE CHAMP DE BATAILLE	GAZ	FORMULE CHIMIQUE	PROPRIÉTÉS PHYSIOLOGIQUES
1915. Septembre.	Tétrachlorosulfure de carbone (liquide).	CSCl_4	Suffocant.
— Fin.	Iodacétone (liquide).	$\text{CH}_3\text{I}-\text{CO}-\text{CH}_3$	Lacrymogène.
— Fin.	Chlorure d'orthonitrobenzyle (liquide).	$\text{C}_6\text{H}_4 \begin{matrix} \text{CH}_2\text{Cl}(1) \\ \text{NO}_2(2) \end{matrix}$	Lacrymogène.
— Fin.	Iodure de benzyle (liquide).	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2\text{I}$	Lacrymogène.
1916. Février.	Chlore (gaz).	Cl_2	Suffocant.
— Février.	Phosgène (gaz).	COCl_2	Suffocant.
— Juillet.	Acide cyanhydrique (sous forme de vin- cennite (liquide)).	HCN	Toxique.
— Fin.	Chloropierine (liquide).	CCl_3-NO_2	Lacrymogène et suffocant.
— Fin.	Acroléine (liquide).	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CHO}$	Lacrymogène et suffocant.
— Fin.	Bromacétone (liquide).	$\text{CH}_3\text{Br}-\text{CO}-\text{CH}_3$	Lacrymogène et suffocant.
— Fin.	Chlorosulfonate d'éthyle (liquide).	$\text{SO}_2 \begin{matrix} \text{Cl} \\ \text{O}-\text{C}_2\text{H}_5 \end{matrix}$	Suffocant.
1918. Mai.	Sulfure d'éthyle dichloré ou Ypérite (liquide).	$\text{S} \begin{matrix} \text{CH}_2-\text{CH}_2\text{Cl} \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2\text{Cl} \end{matrix}$	Suffocant, lacrymogène et vé- sicant.
— Septembre.	Sulfate de méthyle et chlorhydrine sul- furique (rationite, liquide).	$\text{SO}_2 \begin{matrix} \text{O}-\text{CH}_3 \\ \text{O}-\text{CH}_3 \end{matrix}$ et SO_3HCl	Suffocant.

L'ypérite allemande, à la différence de celle des alliés, était fabriquée par la réaction à la monochlorhydrine du glycol, ainsi que l'ont montré, pendant la guerre, M. Grignard, par l'étude des impuretés qu'elle renfermait, et M. Delépine, par la détermination du soufre oxydable en acide sulfurique. Notre procédé de fabrication était trente fois plus rapide que le procédé allemand, sans parler du prix de revient, qui était aussi beaucoup plus avantageux.

5. — Ajoutons, enfin, que les recherches entreprises, sur la série des arsines, par M. Job et ses collaborateurs et par MM. Bougault et Robin, venaient d'aboutir à des résultats du plus haut intérêt, lorsque les hostilités prirent fin.

Tel est, rapidement esquissé, le résultat pratique des recherches effectuées par les laboratoires français qui se consacraient aux gaz asphyxiants. Mais que d'études ont été poursuivies en dehors de celles que nous venons de résumer ! Il faudrait des volumes entiers pour relater tous ces travaux.

B. — LES PRODUITS POUR VAGUES.

Les vagues sont des nuages de gaz nocifs de grande étendue, formées au ras du sol et entraînés par le vent sur le terrain occupé par l'ennemi. On ne peut employer à cet effet que des corps de grande nocivité, de grande densité de vapeur et de bas point d'ébullition. Au point de vue militaire, l'émission d'une vague nécessite un gros travail préalable,

pour disposer un grand nombre de bouteilles à gaz dans des abris bien défilés et camouflés. Il faut parfois une attente très longue avant que se présente un vent de direction et de vitesse convenables; une vitesse de plus de trois mètres par seconde provoque en effet une trop rapide dilution du gaz, tandis qu'une vitesse inférieure à un mètre par seconde est dangereuse pour les troupes du camp qui émet la vague, à cause des remous et des retours de gaz qui peuvent se produire.

La vague allemande du 22 avril 1915 avait montré de toute évidence que le chlore était pour cet usage un corps excellent. On se mit aussitôt à faire des essais, et, dans les mois de juin et juillet, on compara le chlore à d'autres corps; mais aucun ne lui fut reconnu supérieur. On s'aperçut d'ailleurs immédiatement qu'il y aurait lieu de faire soit des vagues transparentes, pour réaliser, au moins par les nuits claires, un effet de surprise, soit des vagues opaques, dans lesquelles on ne verrait pas à un mètre devant soi, et qui, en isolant complètement les combattants, provoqueraient le désarroi et la panique. Pour faire des vagues opaques, on chercha à utiliser le mélange de chlore et d'un chlorure fumigène. La méthode imaginée par l'ingénieur du Génie maritime Cartier, adoptée en juillet 1915, fournit la solution du problème.

La première opération réelle sur le front ne put être réalisée qu'en février 1916, à cause des faibles disponibilités en chlore liquide. Par la suite, au commencement de 1917, le phosgène fut introduit dans les vagues.

Cette question de la vague souleva des problèmes



tout à fait nouveaux, qui nécessitèrent la collaboration intime des chimistes, des mécaniciens, des météorologistes et des officiers. Les chimistes, notamment, durent étudier la variation de la concentration avec la distance du point d'émission, et, avec les météorologistes, ils déterminèrent l'influence des vents sur la dilution. De nombreuses études furent faites dans ce domaine sous la direction des capitaines Bied-Charreton et Beccat, avec le concours des professeurs Delépine et Urbain et de M. Kling.

Les vagues ne furent particulièrement employées que pendant la guerre de tranchées, et surtout en 1915 et 1916. Une vingtaine d'émissions furent faites du côté français. Certaines s'étendirent sur un front de 8 kilomètres; chacune de ces dernières exigeait l'emploi de 6 000 bouteilles, contenant 240 tonnes de produit; elles faisaient des victimes jusqu'à 10 et 15 kilomètres de profondeur.

C. — RÉALISATION INDUSTRIELLE.

Si nous considérons dans leur ensemble les différents produits utilisés, nous voyons qu'à l'exception de l'acide cyanhydrique et de l'acroléine tous les toxiques, lacrymogènes et suffocants, ainsi que tous les fumigènes, destinés à alourdir les vapeurs et à rendre visibles les points de chute des projectiles, sont des corps halogénés : soit chlorés, soit bromés, soit iodés.

La fabrication des gaz asphyxiants supposait donc, à la base, de grandes disponibilités en chlore

liquide ou gazeux et en brome ; celle des corps iodés n'était pas susceptible de prendre un grand développement, en raison de la rareté et du prix excessif de l'iode. Or, la déclaration de guerre avait naturellement arrêté les importations de chlore liquide et de brome, qui venaient l'un et l'autre d'Allemagne. Nous ne disposions que de chlore gazeux, préparé par des méthodes chimiques diverses (Weldon, Deacon, etc.), avec de petites quantités de brome, qu'on pouvait faire venir des États-Unis.

Il fallait donc, avant tout, résoudre le problème du chlore et le problème du brome.

Le problème du chlore. — Les premiers besoins en chlore liquide furent couverts en 1915 par des importations d'Angleterre et d'Italie. Mais les disponibilités étaient bien inférieures aux besoins, et il fallut élaborer un vaste programme de construction d'usines à chlore.

Si l'on remarque qu'avant 1915 aucune usine en France n'était en état de faire du chlore liquide, et que, par suite, le nombre des spécialistes de cette fabrication était excessivement réduit, on comprendra l'intensité des efforts qui durent être accomplis par l'industrie française des produits chimiques pour arriver aux résultats qui vont être indiqués.

Le premier programme, de 30 tonnes par jour, fut établi en août 1915 ; il fut accru en 1916, puis poussé en 1917 jusqu'à 50 tonnes par jour. Onze usines électrochimiques, presque toutes hydroélectriques, furent installées. Dans l'ensemble, à la date du 11 novembre 1918, ces usines avaient produit

24 000 tonnes de chlore, dont une moitié en chlore liquide et l'autre à l'état de chlorure de chaux.

Le problème du brome. — Le problème de l'extraction du brome fut orienté dès le début vers l'utilisation des eaux-mères des salines terrestres, des cendres de varechs et des marais salants. Après quelques essais, il fut reconnu que seules les eaux-mères des marais salants étaient susceptibles d'être exploitées industriellement.

En France, deux salins seulement, le salin de Giraud et le salin de Berre, justifiaient une exploitation. Par contre, en Tunisie, on découvrit des ressources beaucoup plus considérables. Deux missions y furent successivement envoyées en septembre puis en novembre 1915, pour étudier les principales salines de la Régence et la production susceptible d'y être réalisée. Trois d'entre ces salines furent reconnues propres à alimenter une usine à brome, mais on donna la préférence au lac salé souterrain de la Sebka-el-Malah, près de Zarzis, à 600 kilomètres au sud de Tunis, dont les eaux-mères, paraissant inépuisables, pouvaient fournir toutes quantités de brome nécessaires.

L'usine de Zarzis, établie et exploitée avec le concours du Service des Travaux publics de la Régence, fut mise en marche vers mars-avril 1916; elle produisit au total 850 tonnes de brome. Le Service du Matériel Chimique put ainsi non seulement faire face aux besoins de ses propres fabrications de gaz asphyxiants, mais encore ravitailler, à un prix dix fois moindre que celui auquel revenait le brome

importé des États-Unis, l'industrie française et les alliés européens.

Fabrications diverses.

Phosgène. — Deux procédés de fabrication furent mis en œuvre.

1° Réaction de l'acide sulfurique fumant sur le tétrachlorure de carbone. M. Grignard étudia cette fabrication et y apporta divers perfectionnements.

2° Combinaison directe du chlore et de l'oxyde de carbone en présence d'un catalyseur. M. Simon donna de très utiles indications.

La majeure partie fut fabriquée d'après le second procédé. Production totale : 46 000 tonnes.

Vincennite. — On fabriqua l'acide cyanhydrique de la vincennite par l'action de l'acide sulfurique sur le ferrocyanure de sodium ou sur le cyanure de sodium. Production totale de vincennite : 4 000 tonnes.

Acroléine. — Ce corps fut obtenu par déshydratation de la glycérine au moyen du bisulfate de potasse. Production : 200 tonnes.

Chloropicrine — Préparée par l'action du chlorure de chaux sur l'acide picrique. Production : 500 tonnes.

Bromacétone. — Préparée par la réaction du brome sur l'acétone, en présence d'eau, de chlorate de soude et d'acide sulfurique. Production : 500 tonnes.

Sulfure d'éthyle dichloré (ypérite). — Le développement de la fabrication de l'ypérite fut, comme celui de l'industrie du chlore et du brome, un

succès considérable à l'actif de l'industrie chimique française.

Les recherches théoriques se poursuivirent, outre les laboratoires de nos services chimiques, au laboratoire de recherches de la Société Chimique des Usines du Rhône.

C'est dans celui-ci qu'on réalisa la première solution du problème industriel. On mit au point un procédé permettant la fixation continue de l'éthylène sur le bichlorure de soufre SCl_2 au sein du tétrachlorure de carbone, et la fabrication commença à l'usine de Roussillon en mars 1918. Cette fabrication, dont le débit s'accrut très rapidement, permit d'envoyer les premiers obus à ypérite aux armées vers la fin de mai. De mars 1918 à l'armistice, la Société des Usines du Rhône produisit 1 500 tonnes d'ypérite. Le soufre venait de Sicile et une partie du tétrachlorure de carbone des États-Unis, la fabrication française de ce dernier produit étant insuffisante.

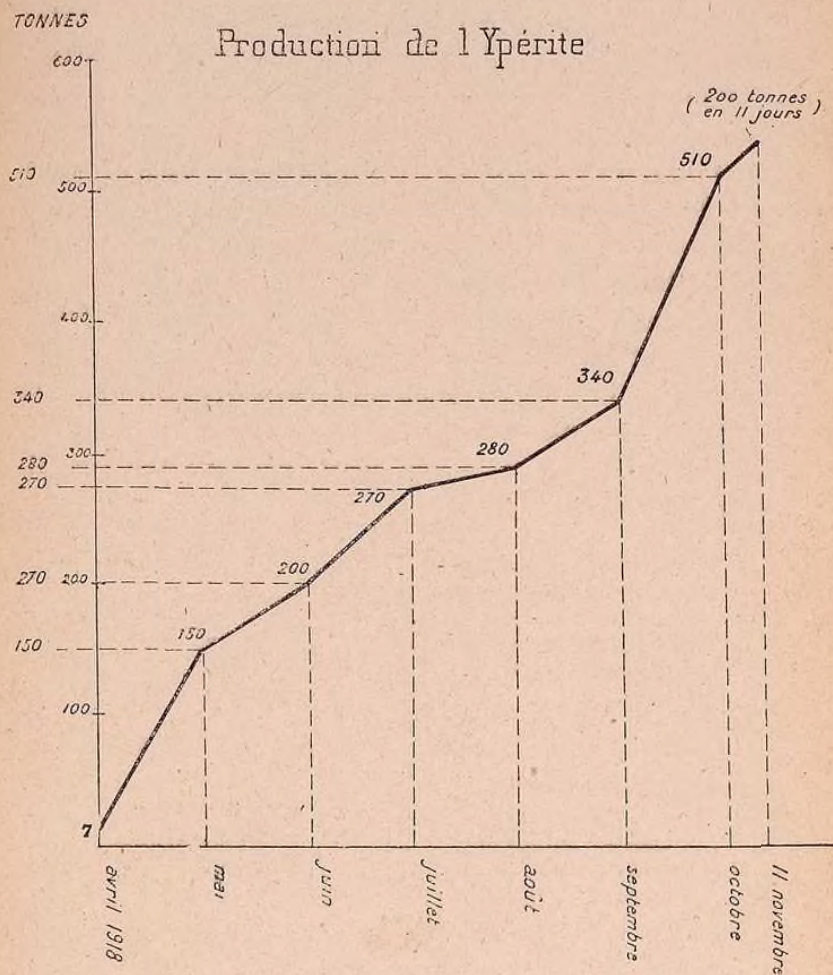
Le procédé au protochlorure de soufre S^2Cl^2 fut également monté dans plusieurs usines.

La fabrication d'ensemble suivit la marche ascendante suivante :

Mars 1918	240 kilos.
Avril	7 tonnes.
Mai	150 —
Juin	200 —
Juillet	270 —
Août	280 —
Septembre	340 —
Octobre	510 —
Novembre (14 jours)	200 —

Soit, au total, près de 2 000 tonnes.

La production était devenue supérieure à la consommation de l'artillerie française.



De nombreux accidents survinrent dans cette fabrication éminemment dangereuse; plusieurs chimistes et ouvriers furent « ypérités » gravement.

Grâce à l'impulsion personnelle donnée à la fabrication par M. Loucheur, ministre de l'Armement et des Fabrications de guerre, et aux efforts des deux officiers chargés de l'organiser : le lieutenant J. Frossard, du cabinet du ministre de l'Armement, et le lieutenant de Kap-Herr, de la section technique et industrielle, grâce au dévouement du personnel des usines, des laboratoires de recherches et des ateliers de chargement, les armées trouvèrent dans l'ypérite une arme précieuse pour arrêter définitivement l'offensive de l'armée allemande. L'apparition de ce produit dans les munitions françaises fit la plus grande impression dans les rangs ennemis. Les ordres émanant des états-majors allemands en sont une attestation formelle.

Produits divers. — On peut encore citer, parmi les produits fabriqués :

Rationite.	40 tonnes.
Chloroformiate de méthyle chloré . . .	80 —
Iodure de benzyle	90 —
Chlorosulfonate d'éthyle	70 —
Iodacétone.	36 —

Chlorures fumigènes. — Il en fut fabriqué les quantités suivantes :

Chlorure stannique	4 000 tonnes.
Chlorure d'arsenic	2 700 —
Chlorure de titane.	200 —

Les chargements de projectiles.

Du 1^{er} juillet 1915 au 11 novembre 1918, les quantités d'obus chargés s'élevèrent à :

Obus de 75	13 000 000
Obus lourds de 105 à 155 et bombes. . .	4 000 000
Grenades suffocantes	1 100 000

La progression des chargements en ypérite fut la suivante :

		Obus de 75.	Obus de 105.	Obus de 155.
Avril	1918	10 000	—	—
Mai	—	205 000	6 000	400
Juin	—	370 000	13 000	1 600
Juillet	—	295 000	19 000	6 000
Août	—	425 000	12 000	11 000
Septembre	—	425 000	14 000	31 000
Octobre	—	350 000	18 000	64 000
Novembre	— (11 jours).	85 000	9 000	27 000
		2 160 000	91 000	141 000

Conclusion.

L'exposé qui précède ne saurait donner qu'une idée bien imparfaite de l'effort immense qu'il a fallu accomplir pour résoudre le formidable problème si brutalement posé par la lâche agression allemande du 22 avril 1915. L'Allemagne, qui connaissait toute la détresse de notre industrie chimique, comptait bien en finir rapidement avec nous par la guerre des gaz. Elle ne se doutait pas, et nous ne nous doutions peut-être pas nous-mêmes, de quoi nous étions capables. Et, en vérité, nos succès chimiques constituent la plus brillante illustration des miraculeuses facultés de la race. On ne saura jamais quel prodige d'ingéniosité, de labeur acharné et de persévérante énergie, furent déployés, quarante-quatre

mois durant, sous l'impulsion de l'homme éminent qu'est le général Ozil, par nos services généraux, nos laboratoires de recherches et nos usines. On ignore généralement aussi les dangers continuels auxquels étaient exposés chimistes, ingénieurs et ouvriers, ainsi que les accidents d'intoxication sans nombre, maintes fois suivis de mort, que nous eûmes à déplorer. C'est grâce à l'intelligence et au dévouement patriotique de tous que la France fut mise en mesure de tenir tête d'abord à un ennemi supérieurement outillé et de le dominer ensuite, pour arriver, en définitive, à le battre sur ce propre terrain de la Chimie des gaz asphyxiants où il s'était flatté de nous réduire à sa merci.



EN VENTE
A LA LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE
3 bis, rue Thénard, Paris.

LA SCIENCE ET L'INDUSTRIE FRANÇAISES PENDANT LA GUERRE

*Leur rôle dans l'œuvre de renaissance économique
de notre pays*

CONFÉRENCES PUBLIQUES DU DIMANCHE
faites au Conservatoire National des Arts et Métiers
(ANNÉE 1920)

1. — **Les Métallurgies.** — M. LÉON GUILLET, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers et à l'École centrale des Arts et Manufactures. 1 fr. 50
2. — **L'Aviation.** — M. R. SOREAU, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, Vice-Président de l'Aéro-Club de France. 1 fr. »
3. — **Les recherches scientifiques et industrielles et les Inventions.** — M. MAURAIN, Professeur suppléant au Conservatoire national des Arts et Métiers. 2 fr. »
4. — **L'évolution du matériel d'artillerie.** — M. le D-Colonel RIMAILHO. 2 fr. 50
5. — **La fabrication du matériel d'artillerie.** — M. CHARPY, Membre de l'Institut. (en impression)
6. — **Les Chars d'assaut.** — Historique technique. Historique tactique. Vues d'avenir. — M. le Général ESTIENNE. 2 fr. 50
7. — **Le Service géographique de l'armée pendant la guerre.** — M. le Général BOURGEOIS, Membre de l'Institut, Directeur honoraire du Service géographique de l'armée. 2 fr. 50
8. — **De la fabrication des poudres et explosifs.** — M. LHEURE, Ancien Directeur du Service des poudres. 2 fr. »
9. — **Les radio-éléments et leurs applications.** — M^{me} CURIE, Professeur à la Sorbonne. 1 fr. 50
10. — **La chimie de guerre. Les gaz de combat.** — M. MOUREU, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France. 1 fr. 50
11. — **Le rôle du laboratoire d'usine.** — M. LÉON GUILLET, Professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers et à l'École Centrale des Arts et Manufactures. 1 fr. 50
12. — **Les industries chimiques.** — M. FLEURENT, Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers. 1 fr. 50

Chaque conférence est éditée séparément en brochure format in-8 couronne (11,5×18).

S'adresser à la Librairie de l'Enseignement technique, 3 bis, rue Thénard, Paris, 5^e, qui en fera l'envoi sur demande accompagnée du montant.

ENCYCLOPÉDIE INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE

Fondateur : M. LÉON EYROLLES, O. S. P. I.

Ingénieur, Directeur de l'École spéciale des Travaux publics, du Bâtiment et de l'Industrie

En vente à la Librairie de l'Enseignement technique, 3 bis, rue Thénard, Paris (5e).

ORGANISATION ADMINISTRATIVE ET INDUSTRIELLE

- Cours de Commerce industriel, par HOURST.
2 vol. 20 fr.
Cours de Comptabilité commerciale appliquée aux entreprises, par JAYOT. 15 fr.
L'Industrie des Travaux publics, par DUFOUR. 3 fr. 50
Cours d'Organisation générale d'une entreprise de Travaux publics, par POU-LAIN. 15 fr.
Cours de finance et Comptabilité dans l'Industrie, par JULHET. 30 fr.
Les Entreprises Industrielles, fondation et direction, par André LIESSE. 3 fr. 50
Cours de Droit commercial et Introduction à la pratique des affaires, par MASSÉ. 12 fr. 50
Le chèque postal, par Félix Poudon. 10 fr.
Clauses et conditions générales imposées aux entrepreneurs, par GEORGIN. 12 fr. 50

BÉTON ARMÉ

- par le Lieutenant-Colonel ESPITALIER.
Précis pour le calcul des ouvrages en béton armé. 8 fr.
Cours de Béton armé. *Livre I* : Procédés généraux de construction. 18 fr.
Livre II : Applications. 22 fr.

BÂTIMENTS.

ÉTABLISSEMENTS INDUSTRIELS

- Construction et Installation des Bâtimens agricoles, par le Lieutenant-Colonel ESPITALIER et PRÉVOT. 20 fr.
Construction des Usines et Établissements industriels, par le Lieutenant-Colonel ESPITALIER. 25 fr.

MÉCANIQUE ET MACHINES

AUTOMOBILE. AVIATION

- Cours de Résistance des matériaux appliquée aux machines, par Georges BAYLE. 30 fr.
Cours de Moteurs à gaz, par LACON. 3 vol. 30 fr.
Cours d'Aviation. *Appareils d'aviation et propulseurs*, par le Lieutenant-Colonel ESPITALIER. 10 fr.
Les Moteurs d'aéronautique, par MARCOTTE (en impression).

- Cours d'Automobiles, par RIDET. *Livre I* : Moteurs. 20 fr. *Livre II* : Voitures. 20 fr.

ELECTRICITÉ INDUSTRIELLE

- Installations à haute tension, par PARRA. 25 fr.
Construction de Machines électriques, par CASTANIER. 2 vol. et 1 atlas. 40 fr.
Cours de traction électrique : *Livre I* : Systèmes de traction. Matériel roulant. Moteurs. Equipements, par René MARTIN, avec atlas. 65 fr.
Livre II : Voie électrique et *Livre III* : Mouvements des trains sur les voies ferrées, par JANIN (en réimpression).

- Cours de Mesures électriques, par Eug. VIGNERON. *Livre I* : Essais de laboratoires. 25 fr.
Livre II : Essais de Machines (en impression).

- Cours d'éclairage élect., par RUAT. 8 fr.

MÉTALLURGIE.

CONSTRUCTIONS MÉCANIQUES

- Cours de métallurgie, par le Général GAGES. *Livre I* : La Fonte. *Livre II* : Elaboration des fers et des aciers. *Livre III* : Travail du fer et de l'acier. *Livre IV* : Essais mécaniques des fers et des aciers. *Livre V* : Métallurgie des alliages métalliques et des métaux autres que le fer. Les 5 vol. 100 fr.
Standardisation, par le G^l GAGES. 25 fr.
HYDRAULIQUE ET FORCES HYDRAULIQUES
Barrages, par BONNET. 30 fr. — Epuration des eaux et assainissement, par DIENERT. 20 fr. — Moteurs hydrauliques, par MILANDRE. 20 fr. — Aménagement des Cours d'eau en vue de la production de l'énergie électrique, par LÉVY SALVADOR. 22 fr. 50
Formation, entretien et aménagement des cours d'eau, par le même. 15 fr.

TRAVAUX MARITIMES

- Cours de Travaux maritimes, par BÉNÉZET. 3 vol. 60 fr.

CHEMINS DE FER

- Chemins de fer à crémaillère, funiculaires et transports aériens, par LÉVY LAMBERT. 8 fr.
Notice sur les enclenchements, par M. R. ALLEGRET. 5 fr.

DROIT. LÉGISLATION

- Législation du travail et prévoyance sociale, par MASSÉ et BOVIER-LAPIERRE. 20 fr.
Législation du travail et notion de législation ouvrière et industrielle, par BERTHIOT. 35 fr.
Notions élémentaires de Droit civil, par Ch. GEORGIN. 25 fr.

DIVERS

- Cours de Meunerie, par MILANDRE. 12 fr.
Cours de Travaux publics aux Colonies, par HARDEL. 6 fr.
Les Murs de soutènement, par Ch. ARBRY. 10 fr.
Règlement du 8 janvier 1915, du Ministère des Travaux publics, pour le Calcul et les épreuves des ponts métalliques, par MATHIEU. 3 fr.
Vocabulaire technique français-allemand, par DEMOLLIENS. 4 fr. 50
Pour devenir Ingénieur, par le Lieutenant-Colonel ESPITALIER. 3 fr.
Évolution des Industries qui transforment les produits agricoles, par L. LINDET. 3 fr. 50
Formulaire mathématique et technique. 3 fr. 50

Majoration temporaire de 20% sur les prix marqués. — Pour plus de détails, consulter le catalogue général envoyé franco sur demande.