

LA GUERRE  
DES GAZ ET  
LES TRAVAUX  
DES SERVICES  
CHIMIQUES  
FRANÇAIS<sup>(1)</sup>



- FIG. 1.  
APPAREIL A. R. S.  
VU DE PROFIL.

**P**AR les actes de La Haye du 29 juillet 1899, toutes les nations européennes s'étaient interdit l'emploi de projectiles ayant « pour but unique de répandre des gaz asphyxiants ou délétères ».

Et cependant le 22 avril 1915, vers cinq heures du soir, un épais nuage de vapeurs lourdes d'un vert jaunâtre sortait des tranchées allemandes entre Bixschote 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) Article publié par le Bureau des Services Chimiques de la Direction de l'Artillerie.

Tout d'abord : qu'est-ce qu'un « gaz » ?

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

Au point de vue physiologique, 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 corps 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 ;



MISSION DE L'INSPECTION DES ÉTUDES CHIMIQUES DANS LES MINES DU S. E.

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 des brûlures plus ou moins graves, soit du prurit, soit des manifestations cutanées plus profondes, telles que l'apparition de phlyctènes, et peuvent déterminer des lésions analogues des différentes muqueuses et notamment de celles des voies respiratoires;

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

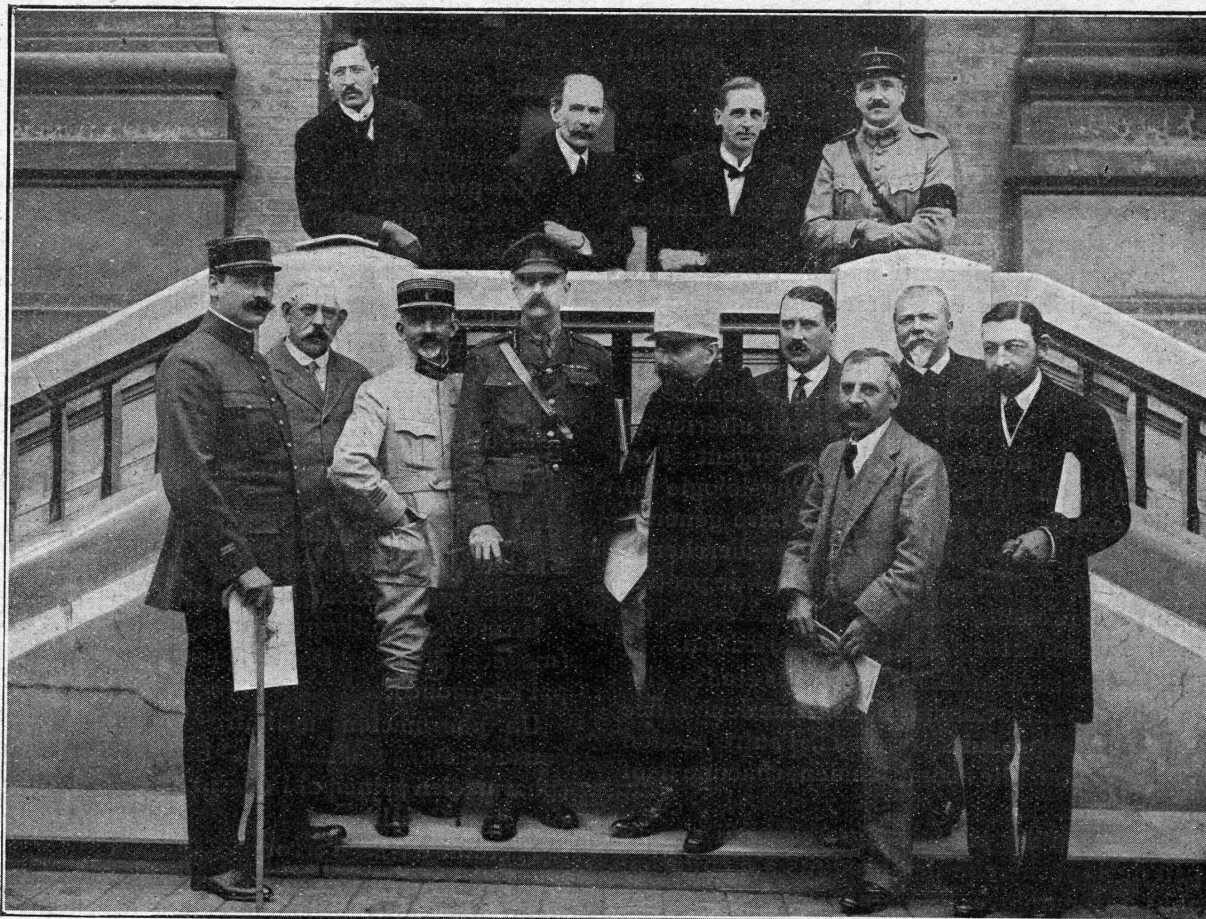
mort. Il en fut de même de certains autres corps susceptibles de tuer, bien que leur propriété physiologique prépondérante consistât en un pouvoir vésicant ou sternutatoire.

Au point de vue militaire, les « gaz » se classent encore en deux nouvelles catégories : fugaces et persistants, suivant la durée 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 en tirant des 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'ORGANISATION DES SERVICES CHIMIQUES DE GUERRE.

L'innovation de la guerre des gaz par l'Allemagne trouva la France complètement dépour-





MISSION ANGLAISE (AOÛT 1917).

vue; à ce moment l'armée française n'avait en effet dans son matériel de guerre ni obus à gaz, ni cylindres d'émission de gaz, ni même d'appareils de protection; il fallut tout improviser aussi bien à l'« intérieur » qu'aux armées.

Les recherches relatives à l'emploi des gaz furent d'abord confiées au service du Génie.

Dès le 28 avril 1915, se réunit une Commission présidée par le général Curmer, dont faisaient partie un certain nombre d'officiers et de savants. Cette Commission ne fut réunie qu'une fois et fut remplacée au commencement de juin par une commission dite des Études chimiques de guerre, présidée par M. Weiss, directeur des Mines au Ministère des Travaux publics. Elle comprenait des industriels, des officiers et des savants; elle se subdivisa en août 1915 en trois sous-commissions.

- 1° La sous-commission des Études sur le front; président : M. Kling.
- 2° La sous-commission des Études d'agression; président : M. Moureu.
- 3° La sous-commission des Études de protection; président : M. Vincent.

Mais les études entreprises ne tardèrent pas à montrer que les gaz seraient surtout utilisés dans des projectiles plutôt qu'en vagues, et la question fut passée, le 1<sup>er</sup> juillet 1915, au service de l'Artillerie, c'est-à-dire, à cette époque, au sous-secrétariat d'État de l'artillerie et des munitions que M. Albert Thomas venait d'organiser.

Une Direction du Matériel Chimique de Guerre fut chargée de poursuivre les fabrications qui avaient été jusqu'alors confiées à la Section technique du Génie.

Enfin, le 17 septembre 1915, un arrêté ministé-

riel institua le Service du Matériel Chimique qui subsista dans ses lignes essentielles pendant toute la durée de la guerre. Ce Service, placé sous la haute direction d'un général adjoint au sous-secrétaire d'État de l'artillerie et des munitions (général Ozil), comprenait :

Un organe d'études : l'Inspection des Études et Expériences Chimiques;

Un organe de fabrications : la Direction du Matériel Chimique de Guerre.

L'Inspection des Études et Expériences Chimiques fut confiée au colonel Perret, promu ultérieurement général; le sergent Terroine (1), du laboratoire de Physiologie du Collège de France, en fut le Secrétaire général.

Cette Inspection fut chargée de rechercher et d'expérimenter les modèles d'engins de protection, les produits toxiques utilisables et de mettre au point les procédés de fabrication.

L'Inspecteur était assisté, pour les études chimiques, de deux Commissions, l'une dénommée section des produits agressifs, l'autre section de protection. Elles comprenaient chacune neuf membres.

La section des produits agressifs, qui s'occupait de la recherche des produits à charger en obus ou à employer en vagues, était composée de la façon suivante :

Président : M. le général Perret;

Vice-président : M. le prof. Moureu, membre de l'Institut, professeur au Collège de France;

M. le prof. Bertrand, professeur à la Sorbonne, chef de service à l'Institut Pasteur;

M. le prof. Grignard, professeur à l'Université de Nancy;

M. le prof. Job, professeur au Conservatoire National des Arts et Métiers;

M. Kling, directeur du Laboratoire municipal de Paris, conseiller chimique du G. Q. G.;

M. le prof. Lebeau, professeur à l'École de Pharmacie de Paris;

M. le prof. Maquenne, professeur au Muséum, démissionnaire au commencement de 1916 et remplacé par M. le prof. Delépine, professeur à l'École de Pharmacie de Paris;

M. le prof. Simon, de l'École Normale Supérieure;

(1) Aujourd'hui professeur de Physiologie générale à l'Université de Strasbourg.

M. le prof. Urbain, professeur à la Sorbonne;  
Secrétaire : M. Terroine;

La Section de protection était constituée comme suit :

Président : M. le général Perret;

Vice-président : M. le prof. Achard, membre de l'Académie de Médecine, professeur à la Faculté de Médecine de Paris;

M. le docteur Banzet, ancien chef de clinique à la Faculté de Médecine de Paris;

M. le prof. Bertrand, professeur à la Sorbonne, chef de service à l'Institut Pasteur;

M. le prof. Desgrez, professeur à la Faculté de Médecine de Paris;

M. le prof. Lebeau, professeur à l'École de Pharmacie de Paris;

M. le docteur Flandin, ancien chef de clinique à la Faculté de Médecine de Paris;

M. le prof. Vincent, du Val-de-Grâce;

Un médecin militaire représentant du G. Q. G. (médecin principal Dopter, puis médecin principal Raymond);

Un pharmacien militaire représentant le sous-secrétariat d'État du Service de Santé (pharmacien principal Pellerin puis pharmacien principal Gauthier);

Secrétaire : M. Terroine.

La liaison entre les deux Sections était naturellement et fortement établie par le président, le secrétaire et deux membres communs. Mais cette liaison ne suffisait pas. Il importait au plus haut point que les Études entreprises répondissent immédiatement et exactement aux besoins des armées et c'est pour cela que, d'une part, le président de l'Inspection des Études et Expériences Chimiques fut pris parmi les officiers du front (le colonel Perret commandait une brigade d'infanterie) et que, d'autre part, le G. Q. G. fut représenté dans les Sections par les officiers qui dirigeaient le Service des Gaz au G. Q. G.

Cette liaison intime des armées et de l'intérieur, considérée comme absolument indispensable, fut réalisée dès l'origine; ce fut une des conditions de réussite des services chimiques de guerre français.

Plus tard, ainsi que nous aurons l'occasion de le voir, la liaison fut assurée avec les armées alliées et les Services Chimiques alliés par des représentants régulièrement accrédités.



Avec les membres des Sections, l'Inspecteur des Études et Expériences Chimiques disposait d'un certain nombre d'officiers, de médecins, qui, respectivement, étaient plus spécialement chargés des études d'amorçage, d'organisation des projectiles, engins et appareils divers, de la préparation des expériences à faire sur les polygones, etc.

LABORATOIRES. Les recherches furent effectuées dans 16 laboratoires.

Chaque chef de laboratoire, lorsqu'une étude était terminée, adressait un rapport au Général Inspecteur des Études et Expériences Chimiques, qui le faisait examiner par la section intéressée et soumettait au Ministre la conclusion formulée. Ces laboratoires étaient les suivants :

Onze laboratoires de recherches chimiques ayant pour objet d'étudier les substances agressives :

Laboratoires : de M. Moureu, d'abord à l'École de Pharmacie de Paris, puis au Collège de France, renforcé au commencement de l'année 1918 par trois laboratoires annexes : ceux de MM. Bougault, Tiffeneau et Valeur à l'École de Pharmacie de Paris ;

De M. Bertrand, à l'Institut Pasteur ;

De M. Delépine à l'École de Pharmacie ;

De M. Grignard à la Sorbonne ;

De M. Job au Conservatoire des Arts et Métiers ;

De M. Kling au Laboratoire municipal de Paris ;

De M. Simon à l'École Normale Supérieure ;

De M. Tassilly à l'École de Physique et de Chimie industrielles de Paris ;

Un laboratoire d'analyse de viscères d'hommes intoxiqués par les gaz : laboratoire de M. Lebeau à l'École de Pharmacie.

Un laboratoire de protection individuelle : laboratoire de M. Lebeau à l'École de Pharmacie ;

Un laboratoire de protection collective : laboratoire de M. Desgrez à la Faculté de Médecine (certaines questions de protection collective furent étudiées au laboratoire de M. Tassilly) ;

Un laboratoire de physiologie : laboratoire de M. Mayer au Collège de France ;

Un laboratoire de thérapeutique : laboratoire de M. Achard à la Faculté de Médecine.

Plusieurs champs d'expériences permirent le travail sur le terrain :

CHAMPS D'EXPÉRIENCES. Le polygone de Satory (Seine-et-Oise) pour les expériences de protection individuelle et collective, de lance-flammes, les petites émissions de gaz ;

Le polygone d'Entressen (Bouches-du-Rhône), établi en 1918, pour les grandes émissions de gaz et les grandes expériences de tir d'artillerie ;

Le polygone de Fontainebleau pour les tirs d'artillerie à moyennes distances ;

Le polygone de Vincennes, pour les expériences sur la protection des chevaux et les essais d'éclatement d'obus au repos.

ORGANES DE FABRICATION. L'organisation créée à la date du 17 septembre 1915 n'apporta, à ce point de vue, aucun changement à l'organisation instituée le 1<sup>er</sup> juillet de la même année.

Le colonel Vinet fut nommé Directeur du Matériel Chimique de Guerre ; il fut remplacé en mai 1918 par le lieutenant-colonel Taffanel.

La Direction du Matériel Chimique de Guerre comportait comme organes d'exécution : l'Établissement Central du Matériel Chimique de guerre, la Section Technique et Industrielle et les Ateliers de Chargement d'Obus Spéciaux, organisés au parc d'artillerie de place de Vincennes.

L'Établissement Central du Matériel Chimique de Guerre, à la tête duquel fut mis le commandant Papon dès le 1<sup>er</sup> juillet 1915, comportait des services techniques et administratifs, des laboratoires et des ateliers de chargement de cylindres pour vagues.

Il avait comme attributions : les achats de matières premières, la passation des marchés pour la fabrication des appareils de protection, du matériel d'émission de gaz, du matériel lance-flammes, la réception de ces divers appareils, les expéditions aux armées, les cessions aux alliés.

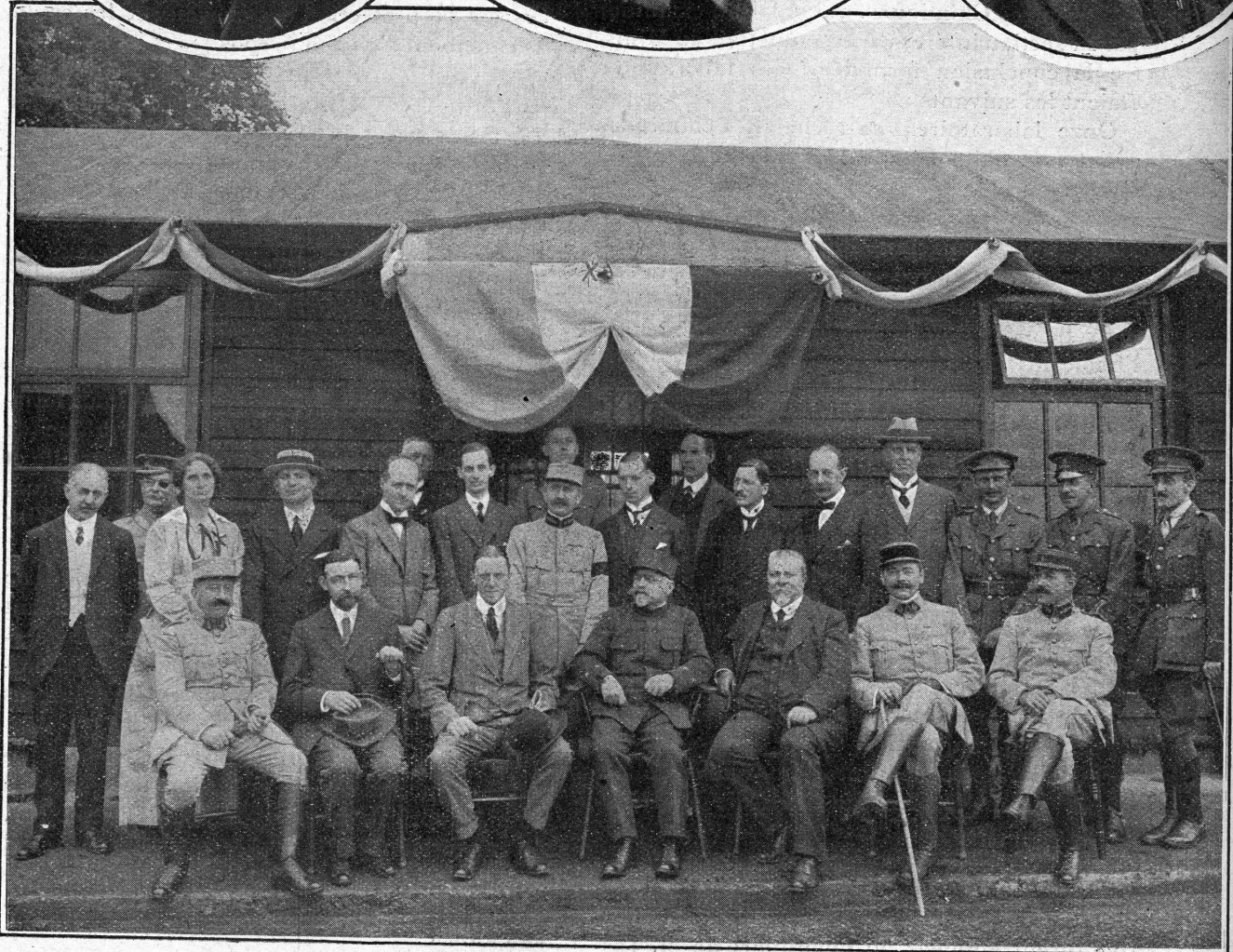
Ses laboratoires étaient au nombre de trois :

1<sup>o</sup> Le laboratoire de contrôle de la fabrication des appareils de protection contre les gaz, dirigé par M. Lebeau, ce qui permettait à ce dernier de vérifier si les appareils mis en

M. LE PROF.  
FRÉDÉRIC TRÉRAND.

M. LE PROF. DELÉPINE.

COLONEL  
TAFFANEL.



MISSION DU GÉNÉRAL OZIL EN ANGLETERRE.

service étaient conformes aux modèles adoptés.  
2° Le laboratoire du professeur Delépine chargé de la réception des différents produits chimi-

ques nécessaires aux besoins de l'Établissement.  
3° Le laboratoire du commandant Cellerier au Conservatoire des Arts et Métiers, qui était

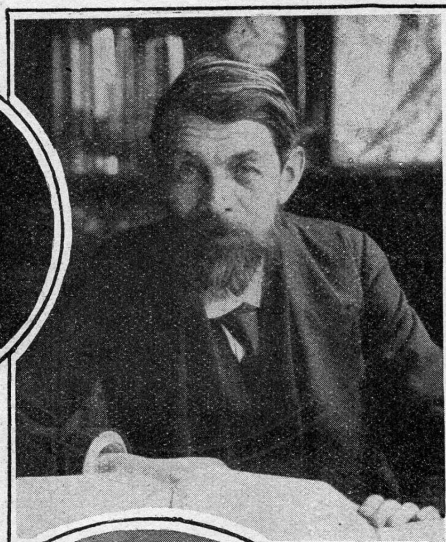




M. LE PROF. VINCENT.



M. LE PROF. LEBEAU.



M. LE PROF. URBAIN.



COLONEL VINET.



M. LE PROF. ACHARD.

chargé de faire subir les épreuves de réception de certaines matières premières et des divers éléments de masques.

La Section Technique et Industrielle confiée le 1<sup>er</sup> juillet 1915 au capitaine Cuvelette, remplacé en 1917 par le commandant Bollaert, puis en 1918 par le commandant Perrot, fut chargée de l'organisation des usines de produits agressifs. Elle disposait du laboratoire du professeur Delépine pour contrôler les produits fabriqués.

Les ateliers d'obus furent établis : l'un à Vincennes pour les obus incendiaires lacrymogènes et fumigènes, l'autre au fort d'Aubervilliers pour les obus toxiques. Un laboratoire de contrôle du chargement des obus fut créé à la Sorbonne sous la direction de M. le Professeur Urbain.

Enfin, en juin 1918, après la mise en train des nouveaux ateliers de Pont-de-Claix et de Salaise, fut institué un troisième service qui fut confié au capitaine Schmidt : la Section centrale des Ateliers de Chargement. Elle prit sous sa direction tous les ateliers de chargement d'obus à gaz.

Cette organisation a montré sa valeur au cours de la guerre par les résultats qu'elle a permis d'obtenir et que nous allons exposer. Le général Ozil avait réussi à établir une liaison constante entre les organes d'études et les ser-

vices de fabrication et à faire donner à chacun le maximum de rendement.



GÉNÉRAL PERRET.



M. LE PROF. SIMON.



M. LE PROF. JOB.



M. KLING.

**ORGANISATION  
AUX ARMÉES.**

Le 23 avril 1915, au lendemain même de l'attaque allemande, une entente intervint à la demande du G. Q. G. entre le Ministre de la guerre et le Préfet de police pour que M. Kling, Directeur du Laboratoire municipal, fût immédiatement envoyé aux armées afin de procéder à une enquête sur place. A la suite de cette mission, sur laquelle nous aurons l'occasion de revenir plus loin, M. Kling fut chargé par le G. Q. G. de procéder, d'une manière permanente et définitive, à toutes enquêtes sur les armes nouvelles utilisées par l'ennemi : engins à gaz, projectiles incendiaires et bombes d'aviation.

M. Kling créa alors une organisation destinée à renseigner le G. Q. G. sur la nature des produits utilisés au cours de chaque attaque. Initialement, dès qu'une attaque lui était signalée, M. Kling ou l'un de ses adjoints, se rendait sur les lieux et recueillait tous éléments permettant de l'éclairer dans son enquête.

Il se faisait accompagner par le Médecin chef du centre médico-légal intéressé, organisme créé pour l'étude des questions d'ordre médical relatives aux gaz de combat ; ce médecin fournissait à M. Kling les documents d'ordre médical et effectuait des prélèvements de viscères.

Le nombre des attaques par gaz s'étant multiplié rapidement, il devint impossible à M. Kling d'assurer les enquêtes au front avec le seul concours des médecins des centres médico-légaux placés à ce moment sous sa direction. C'est alors que l'on créa les officiers chimistes d'armée.

Ces officiers chimistes, attachés à l'état-major de l'artillerie de l'armée, étaient chargés de recueillir sur le champ de bataille les obus allemands inexplorés et de les expédier à Paris au Laboratoire municipal. Ils disposaient dans une ville de l'arrière d'un petit laboratoire dans lequel ils pouvaient démonter les munitions





PROF. A. MAYER



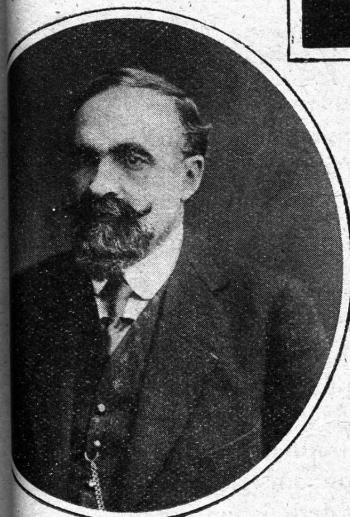
M. LE PROF. GRIGNARD.  
M. JEAN GÉRARD.



M. LE PROF.  
TERROINE.



MAJOR  
LEFÉBURE.



M. LE PROF. MOUREU.



M. LE PROF. CARDOSO.

recueillies par eux et procéder à des essais chimiques sommaires.

Ils faisaient sur place des prélèvements de gaz et de terres infectées.

Afin d'établir une liaison entre ces différents officiers et de les tenir au courant des faits survenus au point de vue des munitions allemandes à gaz sur toute la ligne de front, on les convo-

quait périodiquement à des conférences faites au Laboratoire municipal de Paris.

La section des études chimiques de guerre du Laboratoire municipal comprenait ainsi trois services :

Le service d'analyse des produits toxiques.

Le service d'étude des projectiles et de leur reconstitution.

Le service des analyses toxicologiques.

Dans tous les cas qui se sont présentés, le laboratoire de M. Kling put en quelques jours faire savoir au G. Q. G. la nature des pro-

duits nouveaux employés par l'ennemi et la tactique suivant laquelle l'attaque avait été conduite.

Simultanément M. Kling envoyait sur le même sujet un rapport au général Ozil et au général Inspecteur des Études et Expériences Chimiques.

Ultérieurement le rôle des centres médico-légaux fut modifié et élargi.

Les médecins des centres médico-légaux furent encore chargés, en liaison avec les officiers chimistes, de faire des enquêtes sur les attaques allemandes par gaz. Ils recueillaient encore des viscères sur les hommes intoxiqués et les envoyaient au laboratoire de M. Kling, mais ils en prélevaient aussi pour l'Inspection des Études et Expériences Chimiques et les expédiaient au laboratoire de toxicologie de M. Lebeau et au laboratoire de physiologie de M. Mayer. Ils avaient également pour fonction de surveiller la protection des armées contre les gaz, en particulier, de déterminer la valeur des masques d'une unité ayant subi des attaques sérieuses par gaz, et de diffuser l'enseignement de la protection par des conférences et des exercices. Ces officiers étaient également réunis périodiquement (tous les deux mois) en conférences à l'Inspection des Études et Expériences Chimiques avec les professeurs et officiers de cette inspection chargés des études de protection. Ils apportaient les observations des armées sur les différents types d'appareils et se mettaient au courant des découvertes réalisées au point de vue physiologique, dans les domaines de la protection tant individuelle que collective.

Des conférences leur étaient faites sur ces sujets par les spécialistes de l'Inspection des Études et Expériences Chimiques, en particulier par le commandant Tassilly, les capitaines Bied-Charreton et Gautheron, MM. les Prof. Desgrez, Lebeau, Mayer, Terroine, les Docteurs Banzet et Flandin.

*Liaisons entre les organisations de l'intérieur et des armées.* — Une première liaison avec le G. Q. G. était établie par M. Kling qui, conseiller chimique du G. Q. G., faisait partie de la Section d'Aggression.

Une deuxième liaison avec le G. Q. G. était réalisée par des officiers de l'état-major du Général commandant en chef, nommément désignés, qui assistaient aux séances des Sections d'Aggression et de Protection.

Le général Fetter fut chargé de cette mission à partir de 1917.

Nous venons de voir également la liaison établie par les conférences faites aux médecins des centres médico-légaux.

D'autre part, le capitaine Nebout qui, à l'Inspection des Études et Expériences Chimiques, s'occupait des questions d'artillerie, fut chargé par le G. Q. G. de faire des tournées de conférences.

A maintes reprises, il alla dans les cantonnements de l'arrière et fit ainsi en trois années plus de 400 conférences sur la tactique de la guerre des gaz. Ajoutons que l'Inspection des Études et Expériences Chimiques fut souvent consultée par les états-majors au sujet de l'emploi des gaz pour la conduite des opérations.

On voit ainsi les liaisons intimes qui existaient entre les différents services intéressés à l'emploi des gaz de combat.

*Liaisons entre les services français et les armées alliées.* — La liaison entre les services français de recherches et l'armée anglaise fut assurée par de nombreuses missions du docteur Flandin et par les rapports qui se nouèrent entre les Services français et le Central Laboratory du G. Q. G. britannique.

La liaison entre les Services français et l'armée américaine fut tout d'abord établie par M. Terroine qui, sur une demande de l'état-major américain, à la fin de septembre 1917, fut accrédité auprès du Général Fries, chef du Service des gaz du Corps expéditionnaire américain, pour lui prêter son concours le plus complet et jouer le rôle d'agent de liaison.

Le défrichement d'un terrain aussi neuf pour toutes les nations alliées ne pouvait se poursuivre avec le maximum de rendement qu'en établissant des rapports réguliers entre les services chimiques des différentes nations.

Dès l'attaque du 22 avril 1915, des relations se nouèrent entre les services anglais et français et devinrent de plus en plus étroites à mesure que la guerre avançait et que la guerre des gaz se compliquait. A partir d'août 1916, le Chemical Warfare Department désigna comme officier de liaison à Paris le capitaine Lefébure, précé-



demment officier gazier d'une division anglaise. Cet officier devait transmettre à son Gouvernement tous renseignements concernant les études entreprises en France et porter à la connaissance des Services chimiques français tous éléments d'information relatifs aux recherches effectuées dans les services anglais.

Cette mission fut accomplie d'une façon particulièrement cordiale et la plus absolue confiance n'a cessé de régner pendant toute la guerre entre les Services chimiques des deux nations.

Les dates des 28 et 29 mai 1917 marquent la première étape d'une organisation qui fut créée définitivement en décembre de la même année. Pendant ces deux jours se tint à Paris une conférence d'information franco-britannique sur les effets physiologiques des gaz, leur application au combat et la protection des postes exposés aux attaques ennemies par les gaz.

A l'instigation de la France, d'accord avec la Grande-Bretagne, une première conférence interalliée se réunit à Paris les 17, 18 et 19 septembre 1917 à laquelle étaient représentés la Belgique, les États-Unis, la France, la Grande-Bretagne et l'Italie. Cette conférence, qui eut également pour but l'étude des actions physiologiques des gaz, des moyens de protection individuelles et de la thérapeutique, émit le vœu que fût établi, en dehors des réunions périodiques interalliées, un contact constant entre les organisations similaires des différents pays, dans le but de permettre à chaque organisation nationale de se tenir au courant d'une manière constante des recherches poursuivies et des résultats acquis chez les organisations alliées correspondantes. Elle demanda par suite qu'il fût établi à Paris un Secrétariat permanent interallié qui recevrait toutes les demandes de renseignements des diverses organisations nationales, s'efforceraient de recueillir les indications demandées et les transmettrait aux organisations intéressées.

Ce Secrétariat interallié fut créé dans les derniers jours de décembre 1917 avec la composition suivante :

M. Terroine, secrétaire, délégué français ;  
Le lieutenant Cardoso, délégué italien ;  
Le major Lefébure, délégué britannique ;  
Le capitaine Renard, délégué belge ;  
Le lieutenant-colonel Zanetti, délégué américain.

Le Secrétariat organisa par la suite une deuxième conférence interalliée qui se tint du 1<sup>er</sup> au 5 mars 1918 et une troisième conférence qui dura du 25 au 30 octobre 1918. A cette dernière conférence le Japon fut également représenté.

Chaque pays nommait des délégués spécialisés dans les différentes branches de la guerre des gaz : préparation des produits agressifs, protection individuelle, protection collective, questions physiologiques, questions thérapeutiques, questions d'artillerie liées à la guerre des gaz. Le G. Q. G. français y était représenté par un officier de son Service des Gaz.

L'effort de liaison réalisé dans le domaine des recherches vit naître un effort semblable pour les questions de fabrication. En janvier 1918, le Gouvernement britannique saisissait en effet le Gouvernement français de la possibilité d'instituer une conférence interalliée ayant pour objet d'examiner la production et la fourniture des matériels et des gaz employés comme engins chimiques de guerre. Le Gouvernement français accepta avec empressement. La conférence fut dénommée « Commission interalliée pour les fournitures du Matériel Chimique de Guerre » ; une première réunion se tint le 6 mars 1918 à laquelle furent représentés, l'Angleterre, les États-Unis et la France. Elle devint ensuite le « Comité des fabrications chimiques » du « Conseil interallié de l'Armement et des Munitions », présidé par M. Loucheur. Le général Ozil fut nommé président, et le chef d'escadron Perrot, chef de la Section technique et industrielle, secrétaire du Comité chimique interallié. Dans ce Comité étaient représentés l'Angleterre, les États-Unis, la France et l'Italie.

#### LES GAZ EMPLOYÉS PAR L'ALLEMAGNE.

L'Allemagne a fait appel au cours de la guerre à toutes les propriétés physiologiques des « gaz », augmentant ainsi sans cesse les causes de souffrance des combattants.

La guerre des gaz commença le 22 avril 1915 par l'emploi d'un suffoquant :

Le chlore, à l'état liquide, était mis dans des cylindres qui, par simple ouverture d'un pointeau, le laissaient 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,  $C^6H^5 - CH^2 Br$ , mélangé à du bromure de xyle, 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 en Argonne, dans le bois de la Gruerie, car, depuis plusieurs mois, en particulier depuis le milieu de mars, on soupçonnait l'emploi par l'ennemi d'obus lacrymogènes par coups isolés, tirés sur des positions de batterie.

L'année 1915 et les années suivantes virent apparaître une série de composés nouveaux que nous indiquerons rapidement avec leurs propriétés physiologiques dans le tableau suivant, en respectant l'ordre chronologique d'apparition (*Voir le tableau ci-contre*).


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 mélange dans des obus, par exemple dans le mélange : phosgène 50 %, chloroformiate de trichlorométhyle 30 %, diphénylchloroarsine 20 % ; le chloroformiate de trichlorométhyle fut également employé en mélange à 50 % avec la chloropicrine, etc.

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

Il a été dit précédemment que les obus allemands à gaz n'ayant pas éclaté, ainsi que des débris de projectiles, étaient envoyés, par l'intermédiaire des officiers chimistes, au laboratoire de M. Kling à Paris. Ce laboratoire examina ainsi plus de 1.200 obus et engins asphyxiants allemands de tous chargements.

Pour l'étude des gaz contenus dans les vagues allemandes, M. Kling mit au point des appareils de prélèvement et de décèlement particulièrement sensibles fonctionnant par aspiration; ces appareils étaient disposés par les services de M. Kling dans les premières lignes des secteurs susceptibles de subir des attaques par vagues.

DATES D'APPARITION	GAZ	FORMULE CHIMIQUE	PROPRIÉTÉS PHYSIOLOGIQUES
Juillet 1915.	Bromacétone.	$CH^3-CO-CH^2Br$ .	Suffocant et lacrymogène.
Août 1915.	Chlorosulfate de méthyle. Chloroformiate de chlorométhyle.	$SO^2OCH Cl$ . $Cl - COOCH^2Cl$ .	Suffocant. Suffocant.
Août 1915.	$\alpha$ Bromométhyléthylcétone.	$CH^3-CO-CHBr-CH^2$ .	Suffocant et lacrymogène.
Juillet 1916.	Chloroformiate de trichlorométhyle.	$Cl-COOCCl^2$ .	Suffocant.
Décemb. 1916.	Phosgène.	$COCl^2$ .	Suffocant.
Mai 1917.	Chloropicrine.	$CCl^2NO^2$ .	Suffocant et lacrymogène.
Juillet 1917.	Sulfure d'éthyle dichloré.	$S \begin{cases} CH^2-CH^2Cl \\ CH^2-CH^2Cl \end{cases}$	Suffocant, lacrymogène et vésicant.
Sept. 1917.	Diphénylchloroarsine et monophényldichloroarsine.	$(C^6H^5)^2AsCl$ . $C^6H^5AsCl^2$ .	Suffocant, sternutatoire (d'abord en mélange avec des suffocants : phosgène et chloroformiate de trichlorométhyle, puis au sein d'un explosif.)
Sept. 1917.	Chlorure de phénylcarbylamine.	$C^6H^5-N=C=Cl^2$ .	Nauséux et toxique.
Avril 1918.	Oxyde de méthyle dichloré.	$CH^2Cl-O-CH^2Cl$ .	Sans action appréciable sur l'organisme humain.
Avril 1918.	Dichloroéthylarsine.	$C^2H^4AsCl^2$ .	Sternutatoire et toxique.
Avril 1918.	Dibromoéthylarsine.	$C^2H^4AsBr^2$ .	Sternutatoire et toxique.
Juin 1918.	Cyanure de diphénylarsine.	$(C^6H^5)^2AsCN$ .	Sternutatoire.
Sept. 1918.	N-éthylcarbazol.	 $N-C^2H^5$ .	Sternutatoire.

Dès le travail de M. Kling terminé, et dans le cas où le projectile examiné contenait un produit ou un mélange nouveau, le contenu de l'obus était divisé en six échantillons; le premier était gardé au Laboratoire municipal et les autres étaient distribués à différents laboratoires de l'Inspection des Études et Expériences Chimiques :

Au laboratoire de M. Grignard pour nouvelle étude chimique ;

au laboratoire de M. Lebeau pour examen de la protection conférée par les appareils français contre ce corps nouveau ;

au laboratoire de M. Desgrez pour examen de la valeur des méthodes de protection collective contre cette substance nouvelle ;



au laboratoire de M. Mayer pour déterminer les actions physiologiques;

au laboratoire de M. Achard pour établir la thérapeutique.

Chaque Laboratoire envoyait ensuite son rapport à l'Inspection des Études et Expériences Chimiques.

La nouvelle étude réalisée au laboratoire de M. Grignard comportait une seconde analyse, mais en s'attachant tout particulièrement à la détermination des impuretés contenues dans les produits allemands, de façon à fixer le procédé de fabrication employé par l'ennemi.

Au Laboratoire de M. Mayer on en faisait une étude physiologique aussi minutieuse que possible, on examinait s'il était toxique, et à quelle dose; dans les différentes sections (intoxication, physiologie, chimie physiologique, histologie comprenant hématologie, ophtalmoscopie, spectroscopie) on s'efforçait de savoir par quel mécanisme il l'était; on en recherchait les effets sur les différents appareils de l'organisme, sur les différentes fonctions physiologiques.

Si, après les attaques par gaz, on ne trouvait pas de projectiles non éclatés, on essayait de les

reconnaître par les symptômes déterminés sur les combattants, par les lésions trouvées à l'autopsie des intoxiqués, par l'analyse toxicologique de leurs viscères.

Les centres médico-légaux étaient chargés d'enquêter dans toutes les formations sanitaires où étaient soignés les hommes atteints, de faire, ainsi que nous avons déjà eu l'occasion de le dire, l'autopsie de tous ceux qui succombaient.

On était ainsi rapidement renseigné sur le point de savoir si l'on avait affaire à des corps déjà connus, ou à des corps ayant des effets nouveaux.

Cette division du travail a donné les meilleurs résultats.

*C'est ainsi qu'en six jours on connut la nature de l'Ypérite et les moyens chimiques à employer pour lutter contre ce corps.*

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; les masques par le laboratoire de M. Lebeau, les appareils respiratoires par le Dr Banzet.

## LES TRAVAUX DES SERVICES CHIMIQUES FRANÇAIS.

### 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 ensuite à la protection du cheval, du chien de guerre et des pigeons voyageurs.

#### PROTECTION DE L'HOMME.

En ce qui concerne la protection de l'homme, il y a lieu de distinguer la protection individuelle, c'est-à-dire celle de l'homme isolé, et la protection collective qui se rapporte à des groupements plus ou moins nombreux d'individus.

#### A. — PROTECTION INDIVIDUELLE.

##### PROTECTION DES VOIES RESPIRATOIRES ET DES YEUX.

L'atmosphère du champ de bataille ne contient, en général, que des gaz toxiques fortement dilués. La concentration en gaz est presque toujours inférieure à 1/1.000. La question à résoudre est de trouver des produits chimiques capables de fixer les gaz nocifs contenus dans l'air aspiré et passant avec la vitesse définie par le rythme respiratoire.

Les appareils basés sur le principe de la filtration ne pourront d'ailleurs pas toujours suffire.

Il est en effet aisé de concevoir que si l'on augmente indéfiniment la dose du gaz toxique,

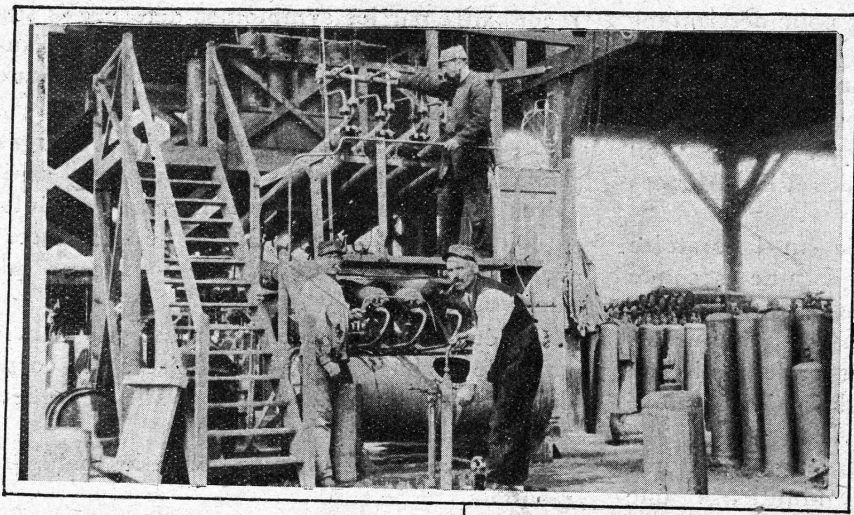


FIG. 2. — ATELIER DU MATÉRIEL CHIMIQUE A JUVISY-SUR-ORGE. — APPAREIL POUR LA FABRICATION DU CHLORURE STANNIQUE.

l'homme protégé par un appareil à filtration, même idéalement bon, ne trouvera plus dans l'air aspiré une quantité suffisante d'oxygène.

Il faut donc, *a priori*, concevoir la nécessité de posséder des appareils permettant de vivre, même aux concentrations les plus élevées.

Ces appareils devront isoler complètement le porteur de l'atmosphère extérieure.

**PROTECTION PAR FILTRATION.**

Du rapport remis par M. Kling à la suite de sa mission du 23 avril 1915, dont nous avons déjà parlé, il résulta que le gaz employé par les Allemands était le chlore.

La capture sur des prisonniers ou des déserteurs allemands de sachets protecteurs contre les gaz permit de savoir de suite que les Allemands avaient recours à l'hyposulfite de soude pour protéger leurs troupes. Le 25 avril, sur l'indication de M. Kling, qui, dès le 23, avait indiqué au général Foch les moyens de fortune susceptibles de protéger nos troupes, le Ministère de la Guerre mettait en commande des tampons qui devaient être imprégnés d'un mélange d'hyposulfite de soude et de carbonate de soude dissous dans de l'eau glycinée. Il

FIG. 4.  
LANCE-FLAMMES EN ACTION.



FIG. 3. — ATELIER DU MATÉRIEL CHIMIQUE A PONT-DE-CLAIX. — APPAREIL HACKSPILL POUR LA FABRICATION CONTINUE DU CHLORURE STANNIQUE.

commanda également des lunettes pour la protection des yeux, et, un peu plus tard, des cagoules du modèle adopté par l'armée anglaise.

Ce tampon à hyposulfite ne devait bientôt plus suffire, car, presque en même temps que le chlore, l'ennemi faisait usage d'obus lacrymogènes au bromure de benzyle, corps contre lequel le tampon à hyposulfite ne conférait aucune protection. La Commission des Études Chimiques eut à résoudre immédiatement cette double protection. Après un certain nombre d'essais, elle adoptait, à la date du 28 juillet 1915, sur la proposition de M. Lebeau, un tampon imprégné d'huile de ricin ou mieux d'un mélange d'huile de ricin et de ricinate de soude.

Mais il convenait de prévoir une aggravation des moyens d'attaque de l'ennemi. En particulier, l'emploi du phosgène, gaz utilisé par l'industrie chimique allemande avant la guerre, était à craindre.



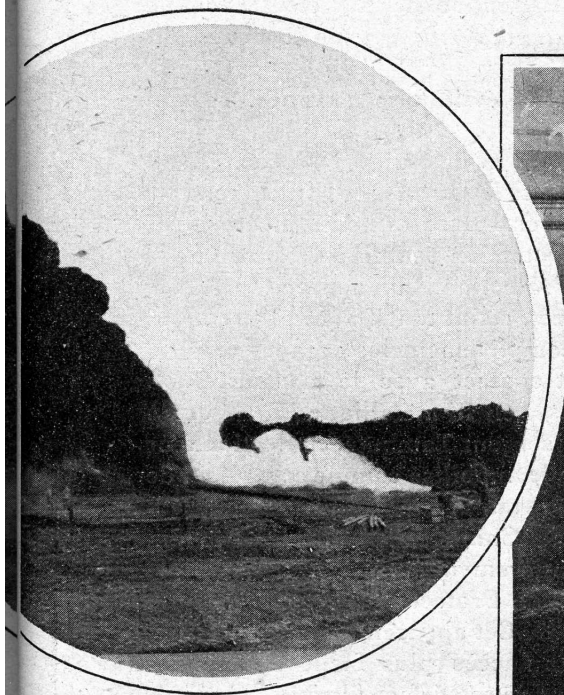
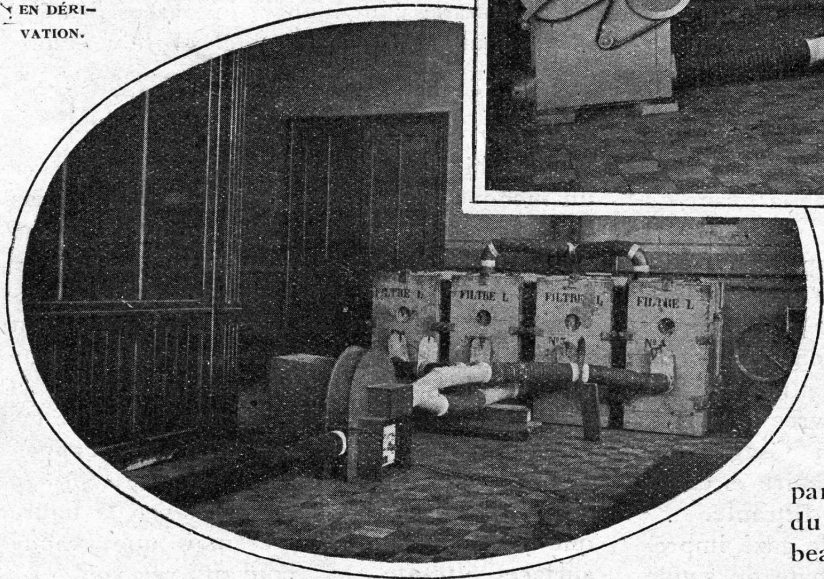


FIG. 5. — VENTILATEUR ÉLECTRIQUE MONTÉ SUR 4 CAISSES LECLERCQ EN DÉRIVATION.



La question de la protection contre le phosphore fut étudiée dans plusieurs laboratoires : par M. Heim au moyen du phénate de soude,

Vol. 2. — Nos 11-12.  
Nov. — Déc. 1919.

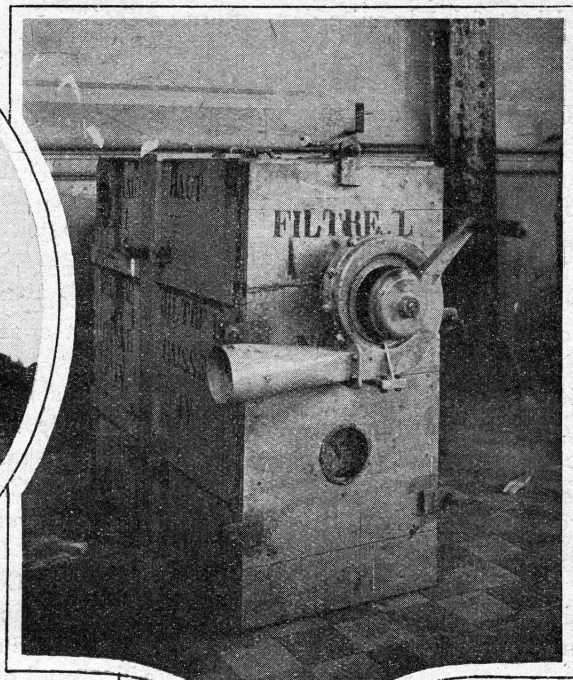


FIG. 6. — PROTECTION DES ABRIS. — CAISSE FILTRANTE [LECLERCQ AVEC VENTILATEUR A MAIN.

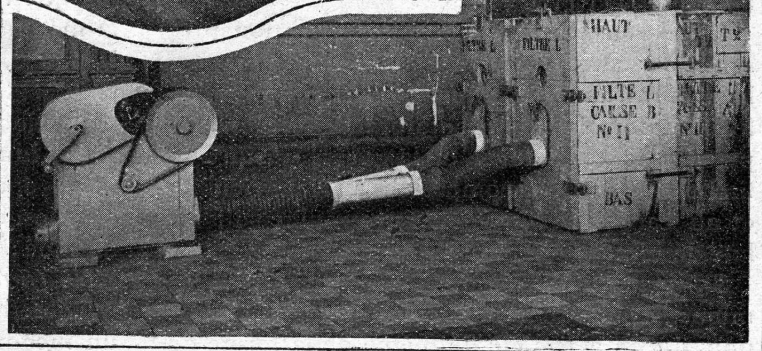


FIG. 7. — VENTILATEUR A BRAS MONTÉ SUR 2 CAISSES FILTRANTES LECLERCQ EN DÉRIVATION.

par M. Colson au moyen de solutions alcooliques de savon, par M. Bonjean au moyen de l'essence de térébenthine, par MM. Henri et Kling au moyen du sulfanilate de soude, par M. Lebeau, avec le concours de M. Verdier, au moyen de l'huile lourde de houille. Le sulfanilate fut adopté par la Commission des Études Chimiques dans sa séance du 16 août 1915 et utilisé sur une deuxième compresse. De même fut mise à l'étude la protection contre

l'acide cyanhydrique, qui fut obtenue par l'emploi de l'acétate basique de nickel. L'utilisation de ce sel, proposé par M. Plantefol, à la suite de recherches effectuées au laboratoire de M. Simon, fut décidée par la Commission dans sa séance du 31 août 1915. De là résulta une troisième compresse.

Le 25 octobre 1915 fut adoptée une double modification qui, pendant plus de deux années, devait représenter le procédé chimique de protection de l'armée française.

En premier lieu, à cause des difficultés présentées par l'imprégnation, M. Lebeau étudia une modification des éléments de protection contre l'acide cyanhydrique; d'autre part, estimant que la protection contre le phosgène pouvait devenir insuffisante, il rechercha un neutralisant plus efficace.

Il résolut le premier problème par la substitution du carbonate basique à l'acétate basique de nickel, et le second par l'emploi d'un mélange d'urotropine et de sulfanilate de soude. Tous ces produits furent d'ailleurs réunis en un seul bain.

Cette nouvelle formule d'imprégnation présentait en outre l'avantage de protéger contre beaucoup d'autres produits, en particulier contre le chloroformiate de trichlorométhyle. Pendant presque toute la durée de la guerre, jusqu'à la fin de 1917, les deux compresses au ricin-ricinate et au carbonate de nickel-urotropine-sulfanilate donnèrent une protection suffisante.

Si, pendant trente mois, les éléments chimiques d'épuration n'ont subi aucune modification, il n'en a pas été de même de la forme de l'appareil de protection.

L'appareil initial était un tampon de coton qu'on imprégnait d'une solution d'hyposulfite de soude, carbonate de soude et glycérine, au moment de l'usage. Ses inconvénients étaient de s'appliquer sur la bouche et de mettre une solution saline en contact avec les lèvres et le nez. En dehors de cette sensation désagréable, il provoquait une gêne respiratoire à cause de la petitesse de la surface filtrante.

La substitution d'un tampon de gaze imprégnée d'huile de ricin et de ricinate de soude au tampon de coton imprégné d'hyposulfite fut réalisée sous la forme du tampon P, auquel furent ensuite adjointes deux compresses supplémentaires au sulfanilate de soude

et à l'acétate basique de nickel, l'ensemble constituant un tampon à trois couches dit tampon P2.

L'imprégnation était faite d'avance, ce qui était un avantage.

Mais ce modèle avait toujours l'inconvénient de s'appliquer sur les lèvres, et l'on chercha de suite à l'améliorer. Parmi les nombreux modèles d'engins de protection soumis à l'examen de la « Section de Protection », un appareil, présenté par le Dr Banzet, retint tout d'abord l'attention. Il dégagait complètement les organes respiratoires de tout contact avec le masque établi sur une carcasse en fil métallique (*fig. 1 et 2*). Peu après, le sergent Tambuté, confectionneur dans la vie civile, mobilisé comme contrôleur de la fabrication des tampons à l'Établissement Central du Matériel Chimique de Guerre, présenta un modèle entièrement souple qui fut adopté par la Section de Protection dans sa séance du 25 octobre 1915. Cet appareil libérait la bouche et permettait un accès plus facile de l'air par l'accroissement de sa surface filtrante. Ce fut le masque T auquel on appliqua presque aussitôt la modification d'imprégnation précédemment indiquée, ramenant de 3 à 2 le nombre des compresses. On obtint ainsi le masque TN (Tambuté, nouvelle imprégnation).

Les lunettes étaient encore séparées des éléments épurateurs. Deux modèles furent établis dans lesquels les lunettes faisaient corps avec le masque; ce furent les masques TNH et LTN (*fig. 8 et 9*).

Toutefois ces appareils présentaient encore un inconvénient en ce sens que le nombre des cordons de fixation du masque autour de la tête était trop grand et que l'homme mettait trop de temps à s'équiper. C'est alors que M. Graveaux présenta un modèle de masque dont la coupe était bien étudiée au point de vue de son adaptation et de sa fabrication, et qui fut adopté par la Section de Protection à la fin de l'année 1915 sous l'appellation de masque M2. Cet appareil (*fig. 10 et 11*), qui n'était en contact avec la figure que par son contour, présentait une grande surface filtrante et pouvait recevoir les imprégnations du TN. La mise en place était presque instantanée, de sorte que l'homme pouvait se protéger aussitôt l'alerte donnée. Par la suite, on simplifia encore la coupe qui



fut faite en une seule pièce; puis on adjoignit au masque un élastique supplémentaire permettant une meilleure adaptation sans retarder la mise en place.

Dans tous ces masques, le point le plus délicat fut le choix de la matière transparente des viseurs. C'est en effet un problème difficile que d'assurer à la fois une bonne visibilité, une solidité suffisante et un pouvoir anti-buée satisfaisant. L'examen des différentes substances susceptibles d'être utilisées (verre, mica, gélatine, acétylcellulose, etc...) fut effectué au laboratoire de M. Lebeau et conduisit à l'adoption d'une hydrocellulose, dite cellophane, qui ne prenait pas la buée. Cette matière fut fabriquée par la Société « La Cellophane ».

Comme il a été dit plus haut, le système chimique filtrant ainsi mis au point s'est montré suffisant et a été utilisé jusqu'à la fin des hostilités; mais la possibilité de l'emploi par l'ennemi de composés chimiques agressifs imprévus, contre lesquels ce système chimique aurait pu être inefficace, conduisit, dès la fin de l'année 1915, à étudier un appareil de protection dont la polyvalence fut aussi considérable que possible. Convaincu qu'il serait pratiquement impossible d'augmenter à ce point de vue spécial l'efficacité du masque M2, M. Lebeau a envisagé, dès cette époque, l'emploi d'un appareil composé d'un masque imperméable aux vapeurs toxiques et d'un récipient dans lequel l'air infecté se purifierait par son passage sur des granulés absorbants. La mise au point de cet appareil nécessita des études très délicates, poursuivies pendant deux années, sur la nature et la qualité des absorbants et en particulier des charbons, sur la nature des tissus imperméables, la construction des soupapes, etc. On s'efforça d'atténuer la dépression, qui gêne la respiration, et d'éviter l'embuage des viseurs.

Le masque imperméable était constitué par deux étoffes superposées: l'une extérieure en tissu caoutchouté, l'autre intérieure enduite d'huile de lin.

Dans ce masque venait se loger une embase métallique comportant deux soupapes: une soupape d'inspiration en mica et une soupape d'expiration en caoutchouc particulièrement ingénieuse (*fig. 15, 16, 17 et 18*). Cette embase avec les soupapes sont dues au médecin aide-major Saulnier.

Sur cette embase venait se visser une cartouche contenant les granulés absorbants divisés en trois couches: une première composée d'oxyde de zinc, de carbonate de soude Solvay et de charbon de bois pulvérisé, le tout aggloméré par de l'eau glycinée; une deuxième constituée par un charbon absorbant spécialement préparé; une troisième faite de plusieurs couches de gaze imprégnée d'urotropine. Dans le courant de l'année 1918, le contenu de la cartouche fut modifié pour assurer la protection contre de plus fortes concentrations de phosgène. M. Lebeau obtint ce résultat en ajoutant aux granulés un peu de permanganate de potassium, corps qui était déjà employé par les Anglais. L'appareil, ainsi réalisé, qui fut dénommé appareil A. R. S., protégeait contre tous les corps employés par l'ennemi jusqu'au moment où les arsines solides firent leur apparition (*fig. 1*). Ces corps, pulvérisés sous forme de poussières, ne pouvaient être retenus par les granulés. Il fallut les arrêter par filtration. Le problème devenait délicat, car l'addition d'un dispositif de filtration devait entraîner un accroissement de la dépression et, par suite, de la gêne respiratoire. M. Lebeau trouva une solution satisfaisante dans l'introduction d'une couche de coton dans la cartouche.

Pour obvier à l'embuage des viseurs, M. Lebeau utilisa un dispositif analogue à celui de l'appareil Tissot, dont il sera parlé plus loin. Dans ce dispositif, les viseurs sont balayés par le courant d'air inspiré qui empêche tout dépôt de buée.

A la demande du G. Q. G. des expériences furent entreprises par l'Inspection des Études et Expériences Chimiques dans le but de déterminer la durée maximum pendant laquelle une troupe peut porter sans interruption l'appareil A. R. S. en position de protection, lorsque cette troupe est au repos, ou bien lorsqu'elle exécute un travail léger ou un travail fatigant.

Les essais portèrent sur une batterie d'artillerie et deux compagnies d'infanterie, les officiers, les sous-officiers et les hommes participèrent aux exercices, ainsi que les médecins du régiment auquel appartenaient les deux compagnies.

Le terrain d'expériences fut infecté à l'iodure de benzyle, corps purement mais très violemment lacrymogène. Les masques furent portés sans aucune interruption et, par conséquent,

sans ingestion d'aliments solides ou liquides.

Les résultats constatés et rigoureusement contrôlés furent les suivants :

#### ARTILLERIE :

Le personnel d'une batterie de 155 court Schneider, à effectif de 46 porteurs de l'appareil A. R. S. (fig. 12), a pu accomplir pendant 9 heures, sans aucune défection, tous les exercices habituels de combat (tir, ravitaillement en munitions, déplacement de la pièce à bras, construction d'épaulements, etc.).

Après 28 heures de port du masque comprenant 14 heures d'exercices, il restait encore 50 % de l'effectif total dont la totalité des officiers, des sous-officiers et des brigadiers sauf un.

#### INFANTERIE :

*Repos.* — Sur un effectif de 82 officiers, sous-officiers et hommes, soumis au repos complet, on a noté 10 % d'abandon pendant les 5 premières heures. Après 24 heures, il restait encore 58 % de l'effectif; 41 % ont porté le masque pendant 36 heures. L'officier, 5 sous-officiers sur 6, et 8 caporaux sur 10 achevèrent l'épreuve.

*Marche légère.* — Sur un personnel de 82 officiers, sous-officiers et hommes, effectuant une marche de 8 kilomètres par 24 heures avec armes et équipement, on ne releva que trois abandons avant la neuvième heure. Après 24 heures, 86 % de l'effectif était encore présent. L'épreuve s'acheva après 36 heures avec 48 % de l'effectif, la totalité des officiers et 5 sous-officiers sur 6 (fig. 12).

*Marche fatigante.* — Sur un personnel de 82 officiers et hommes effectuant une marche de 16 kilomètres par 24 heures avec armes et équipement, on nota 7 abandons avant la huitième heure. A la fin de l'épreuve, soit 23 heures, 73 % de l'effectif, dont la totalité des officiers, des sous-officiers, sauf un, et des caporaux, était encore présents.

*Exercices de combat.* — Sur un personnel de 87 officiers, sous-officiers et hommes effectuant 8 heures par jour d'exercices de combat (aménagement de tranchées, construction d'emplacements de mitrailleuses, construction de réseaux, lancement de grenades) on n'a noté aucun

abandon pendant les six premières heures. Après 14 heures il restait encore 97 % de l'effectif, et l'épreuve s'est achevée après 28 heures avec 60 % de l'effectif.

Sur la totalité de l'effectif soumis aux essais, soit 379 sujets, 25 seulement accusèrent de la gêne respiratoire. Presque tous, en abandonnant l'essai, attribuèrent cet abandon au mal de tête, à l'état nauséux, à la fatigue, c'est-à-dire à tout un ensemble de phénomènes dus à la combinaison du travail et de l'inanition. Tous les hommes ayant terminé les essais ont déclaré être en mesure de recommencer après s'être alimentés.

Ces expériences ont montré d'une façon péremptoire que la gêne apportée par le port de l'appareil A. R. S. est presque nulle et que la durée du port de cet engin de protection n'est limitée que par la nécessité de s'alimenter.

Cet appareil, mis en service à partir de février 1918, fut accueilli sur le front avec une satisfaction très marquée.

Il convient d'exposer ici les principes qui ont constamment guidés les Services d'Études français dans la recherche des meilleurs engins de protection.

On s'est inspiré surtout de la nécessité de mettre à la disposition des combattants des appareils simples, peu encombrants, peu volumineux et d'une utilisation aussi pratique que possible.

C'est ainsi que, pour l'appareil A. R. S., on n'a pas recherché la protection contre des concentrations très fortes, telles que celles que l'on peut réaliser dans les expériences de laboratoire, mais qui ne paraissent jamais devoir être rencontrées dans la pratique. Il en est résulté un appareil peu volumineux, beaucoup moins encombrant que tel masque utilisé chez nos alliés, d'un emploi plus simple, permettant un port très prolongé, parce que ne nécessitant pas notamment l'usage d'un embout buccal et d'un pince-nez et ne déterminant qu'une gêne respiratoire insignifiante.

L'expérience est venue confirmer la justesse de ces vues. L'appareil A. R. S. était déjà en service quand, au cours de la dernière période de la guerre de tranchées, les Allemands mirent en usage les procédés anglais ayant pour but d'émettre des vagues concentrées de phosgène



au moyen de bombes lancées simultanément par un grand nombre de projecteurs. De durée limitée, portant sur un espace restreint, et constituant somme toute des faits de guerre exceptionnels, ces opérations ont pu faire l'objet d'enquêtes très approfondies. Des rapports des médecins-chefs des Centres médico-légaux, il ressort très nettement que dans ces attaques, au cours desquelles, pendant un temps court, les concentrations maxima pouvant être envisagées dans la pratique étaient toujours réalisées, les appareils A. R. S. se sont montrés suffisants. Des interrogatoires des intoxiqués il ressort clairement que ceux-ci ont été victimes de la surprise réalisée par ce procédé d'attaque, que leur masque avait été mis trop tard, alors que le sujet se trouvait déjà depuis quelques instants environné de l'atmosphère toxique, et que tous les hommes qui ont pu mettre leur masque à temps ont été efficacement protégés.

Un autre appareil qui rendit de très grands services fut adopté et mis en fabrication au commencement de 1916. Cet appareil, dû au Dr Tissot, est constitué par une boîte métallique se portant dans le dos et contenant des matières absorbantes : charbon spécial et soude sur paille de fer remplacée ultérieurement par de la chaux sodée. Cette boîte, à la partie inférieure de laquelle se trouve la prise d'air, est reliée au masque en caoutchouc au moyen d'un tube flexible passant sur l'épaule. A l'origine de ce tube se trouve la soupape d'inspiration. Le masque contient une soupape d'expiration. Cet appareil présente l'avantage de ne déterminer qu'une gêne respiratoire insignifiante et d'empêcher les viseurs de s'embuer, ceci grâce à un dispositif original qui fait balayer les vitres par l'air inspiré. Il fut fabriqué en deux modèles : le grand et le petit différant par la grandeur de la caisse filtrante. Dans des conditions normales le Tissot grand modèle pouvait protéger indéfiniment, mais il était un peu encombrant.

L'appareil Tissot petit modèle fut distribué surtout aux hommes ayant des emplois à poste fixe particulièrement importants : pointeurs, mitrailleurs, observateurs, etc.

Le grand modèle était réservé aux compagnies de sapeurs chargées de l'émission des gaz.

Telle est dans ses grandes lignes l'histoire de la protection individuelle par filtration. Il convient toutefois d'observer qu'aucun des

appareils qui viennent d'être décrits, ne conférait la protection contre l'oxyde de carbone. Cette question ne fut pas négligée. Mise à l'étude en 1916 au laboratoire du prof. Desgrez, les recherches aboutirent à l'établissement d'un appareil très simple pour le décellement de l'oxyde de carbone, puis en avril 1917 à la réalisation d'un appareil qui protégeait pendant huit heures, dans une atmosphère à 1/100, et pendant plus de 40 minutes dans des concentrations de 2/100.

Cet appareil, qui allait être distribué aux armées quand l'armistice est intervenu, est basé sur l'oxydation de l'oxyde de carbone par l'anhydride iodique, avec absorption de l'acide carbonique formé.

#### APPAREILS DE PROTECTION CONTRE LES FORTES CONCENTRATIONS

Au lendemain de la vague du 22 avril 1915, le ministère de la Guerre commanda également un certain nombre de ces appareils. Ils étaient de trois types : Fernez, Jaubert à oxyllithe, Draeger.

L'appareil qui a été le plus utilisé fut l'appareil Draeger copié sur le modèle allemand d'avant-guerre. Il isole complètement de l'atmosphère ambiante et permet d'entretenir la respiration au moyen d'un réservoir d'oxygène, l'eau et l'acide carbonique expirés par le porteur étant absorbés par une cartouche de soude caustique (*fig. 14*). Cet appareil permettait de respirer pendant trois quarts d'heure environ. Son gros inconvénient est de comporter un embout buccal et un pince-nez ; l'embout est particulièrement incommode et gêne le porteur, en empêchant la parole et en déterminant de la salivation.

Un appareil dérivé du Draeger fut établi en 1916 par le capitaine Fenzy, de l'Etablissement central du Matériel Chimique de Guerre. Il comprenait une bouteille d'acier chargée d'oxygène sous pression et deux cartouches d'oxyllithe qui prolongeaient la durée de protection jusqu'à 2 heures pour un travailleur et 3 heures pour un homme au repos.

Les grandes concentrations de gaz pouvaient surtout se présenter dans les abris souterrains mal ventilés. Pour ce cas particulier, le Dr Tissot proposa en 1916 une modification très sim-



FIG. 8.  
MASQUE  
T. N.  
A ÉLASTIQUES.

FIG. 9. — MASQUE T. N. ET LUNETTES  
RÉUNIS EN UN SEUL APPAREIL.

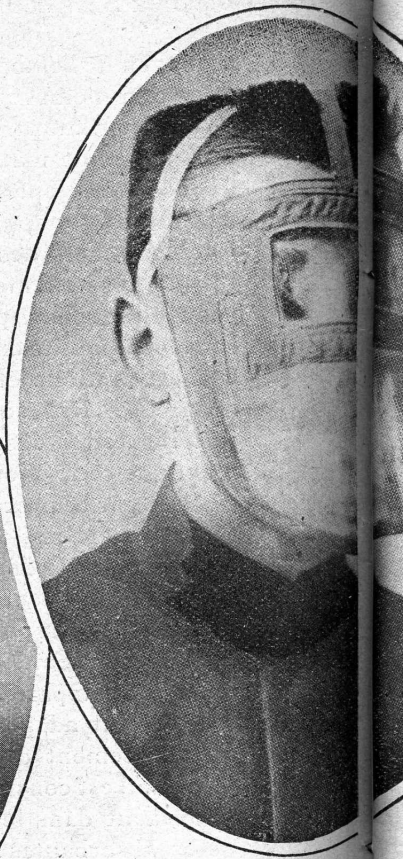


FIG. 10. — MASQUE M 2  
A UN SEUL VISEUR.



FIG. 13. — HOMME PROTEGE CONTRE L'YPÉRITE.

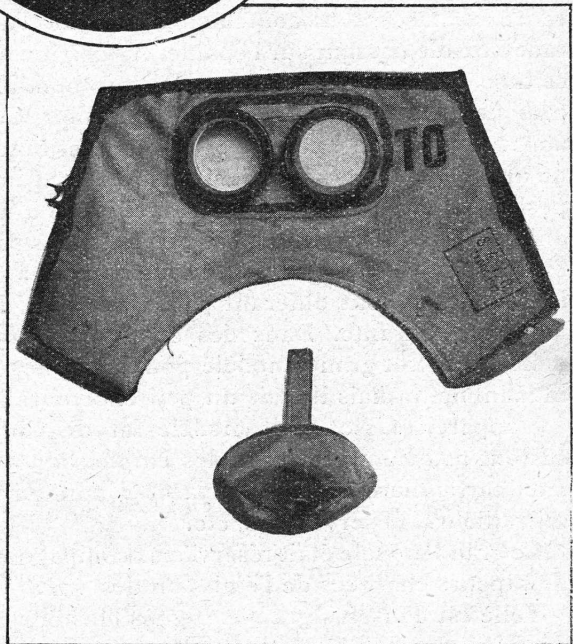


FIG. 16. — MASQUE DÉVELOPPÉ DE FACE. SOUFFLET VU PAR LA BASE.

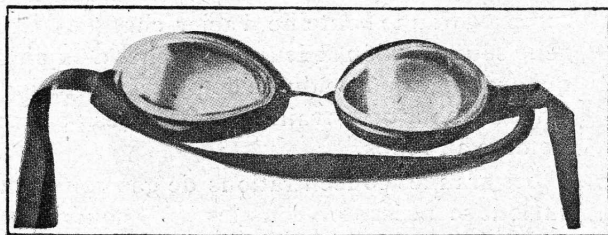


FIG. 15. — LUNETTES A BOURRELETS PNEUMATIQUES.



FIG. 11.  
MASQUE M 2 A DEUX VISEURS.



FIG. 12. — TROUPE EN MARCHÉ MUNIE  
DE L'APPAREIL A. R. S.



FIG. 14. — APPAREIL DRAEGER.



FIG. 17. — INTÉRIEUR DE MASQUE.

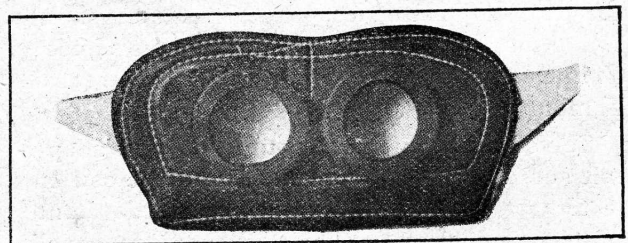


FIG. 18. — LUNETTE EN CAOUTCHOUC.

ple de son appareil, qui consistait à adapter à l'orifice de la prise d'air un fort tube de caoutchouc d'une dizaine de mètres de longueur, portant à son extrémité libre une petite boîte métallique percée de trous. L'homme muni de cet appareil pouvait pénétrer dans un abri contenant une atmosphère très fortement chargée de gaz toxiques, tout en respirant dans l'atmosphère libre à l'extérieur de l'abri.

Enfin le capitaine Fenzy imagina en 1917 un appareil extrêmement portatif, pouvant protéger pendant 10 minutes environ, qui permettait aux sapeurs-mineurs de pénétrer pour un sauvetage dans les galeries de mines envahies par des gaz, et en particulier par l'oxyde de carbone. Il se composait de deux capsules Sparklet modèle D, chargées d'oxygène, d'une cartouche d'oxylithe, d'un embout buccal et d'un sac respiratoire. Son petit volume et son faible poids en faisaient un appareil peu encombrant que l'on pouvait conserver dans les galeries les plus étroites.

Un problème nouveau surgit en juillet 1917, lors de l'apparition du sulfure d'éthyle dichloré ou Ypérite : celui de la protection

**PROTECTION DE LA PEAU.** de la peau. Ainsi qu'il a été indiqué précédemment, ce corps 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 « ypérite », nul ne pouvait y séjourner sans être atteint, sur les parties de la peau non protégées, soit par le masque, soit 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 en 1918, après de nombreuses expériences très pénibles et très dangereuses pour les expérimentateurs, à l'adoption d'un vêtement en étoffe imprégnée d'huile de lin dont la coupe était due au sergent Tambuté (*fig. 13*).

Ce vêtement enferme tout le corps, s'adaptait sur des gants spéciaux, enserrait le cou et la tête par dessus le masque, les pieds étant protégés en outre par des bottes de tranchée. L'étude des tissus et du mode d'emploi de

ces vêtements a été faite sous la direction de M. Lebeau et du capitaine Gautheron.

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

#### B. — PROTECTION COLLECTIVE.

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

On peut les ramener à trois principaux :

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

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

3° Nettoyer 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 libre est redevenue respirable, toutes les excavations de terrain, et par conséquent les tranchées et abris, étaient encore infectés 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, au moyen de pulvérisations de solutions aqueuses d'hyposulfite de soude et de carbonate de soude. Les pulvérisateurs des vigneronns furent reconnus d'emploi 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.

Après des essais portant sur de nombreuses substances, le laboratoire de M. Desgrez trouva en 1917 dans le foie de soufre le neutralisant cherché ; mais sa grande oxydabilité fut longtemps un obstacle à son emploi sur le front, jusqu'à ce que le commandant Tassilly eut trouvé un conditionnement favorable.

La pulvérisation de solutions neutralisantes, qui réussit toujours dans le cas d'une tranchée découverte, peut ne plus suffire dans un abri, lorsque la concentration en gaz y est forte. Les



expériences montrèrent que, dans ce cas, il faut commencer par nettoyer l'abri par ventilation en allumant un foyer à l'endroit convenable.

Le deuxième problème fut résolu en suspendant à l'entrée des abris deux toiles que l'on imprégnait de la solution hyposulfitee au moment de l'usage; l'activité neutralisante des toiles étant entretenue par des pulvérisations nouvelles 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.

Ce nouveau problème fut résolu par le professeur Lapicque dans le premier semestre 1916 à la suite d'expériences faites par MM. Bellay Hondard et par le D<sup>r</sup> Leclercq dans le second semestre 1916.

La méthode consiste à faire aspirer l'air chargé de gaz asphyxiants, à travers des matières épurantes, au moyen d'un ventilateur placé dans l'abri; toutes les ouvertures de l'abri doivent être munies de deux toiles formant sas; la surpression créée refoule les gaz asphyxiants tendant à pénétrer dans l'abri par les interstices des toiles (*fig. 3, 5 et 7*). Les matières épurantes sont le terreau (méthode de Bellay, Hondard et Lapicque) et la sciure de bois imprégnée d'huile anthracénique (méthode Leclercq).

Les types de ventilateurs ont été fixés à la suite des essais effectués par le commandant Tassilly et par le capitaine Dinoire, de l'Établissement Central du Matériel du Génie.

Cette question de la protection des abris et tranchées n'est qu'un cas particulier d'un problème plus vaste, celui de la défense des forts et des creutes contre les gaz, question à laquelle l'Inspection des Études et Expériences Chimiques a collaboré en 1917.

Enfin, le problème du nettoyage des surfaces infectées par l'Ypérite fut résolu, dès l'apparition de ce corps, par le laboratoire de M. Desgrez; le chlorure de chaux en poudre ou en solution constituait un neutralisant parfait. Les effets pouvaient être nettoyés à l'eau bouillante.

La question de l'hydrolyse de l'Ypérite fut particulièrement étudiée au laboratoire de M. Simon qui fit des observations fort importantes au point de vue du mode d'action de l'Ypérite.

### PROTECTION DU CHEVAL.

Le problème de la protection du cheval devait se poser en même temps que celui de la protection de l'homme. Au point de vue physiologique il se présente d'une façon un peu différente, car d'une part, l'œil du cheval est peu sensible aux lacrymogènes, et, d'autre part, le cheval ne respire que par les naseaux et non par la bouche. Il suffit donc de protéger les naseaux.

Au commencement de la guerre des gaz et pendant toute l'année 1915, on se contenta de moyens de fortune, c'est-à-dire de paille humide qu'on mettait au fond d'un sac passé sur la tête de l'animal.

Le 3 avril 1916 fut adopté par la Section de Protection le premier modèle de masque réglementaire pour chevaux, présenté par le vétérinaire major Lanusse. Cet appareil, fait avec d'anciennes cagoules, était imprégné d'huile de ricin et par conséquent était monovalent. Il présentait le gros inconvénient d'imposer une forte dépression respiratoire qui empêchait le cheval de travailler lorsqu'il était protégé.

Une notable amélioration fut apportée par l'adoption, en mars 1917, de l'appareil imaginé par le vétérinaire major Decaux, appareil qui fut perfectionné par son auteur dans le courant des années 1917 et 1918. L'imprégnation était la même que celle du masque M2.

Grâce à un dispositif spécial, l'appareil Decaux ne détermine qu'une très faible gêne respiratoire et, par conséquent, permet un travail soutenu dans des conditions très suffisantes pour la pratique. Il permet l'utilisation des moyens de conduite habituels de l'animal. Les derniers modèles fabriqués pouvaient être portés en position d'attente, l'animal respirant à l'air libre; la mise en place pour la protection s'obtenait par une manœuvre très simple et très rapide.

Les expériences concernant la protection du cheval ont été faites sous la direction du D<sup>r</sup> Banzet.

### PROTECTION DU CHIEN DE GUERRE.

A la demande du Service des chiens de guerre un masque fut mis au point par l'Inspection des Études et Expériences Chimiques, et allait être distribué lorsque l'armistice fut signé.

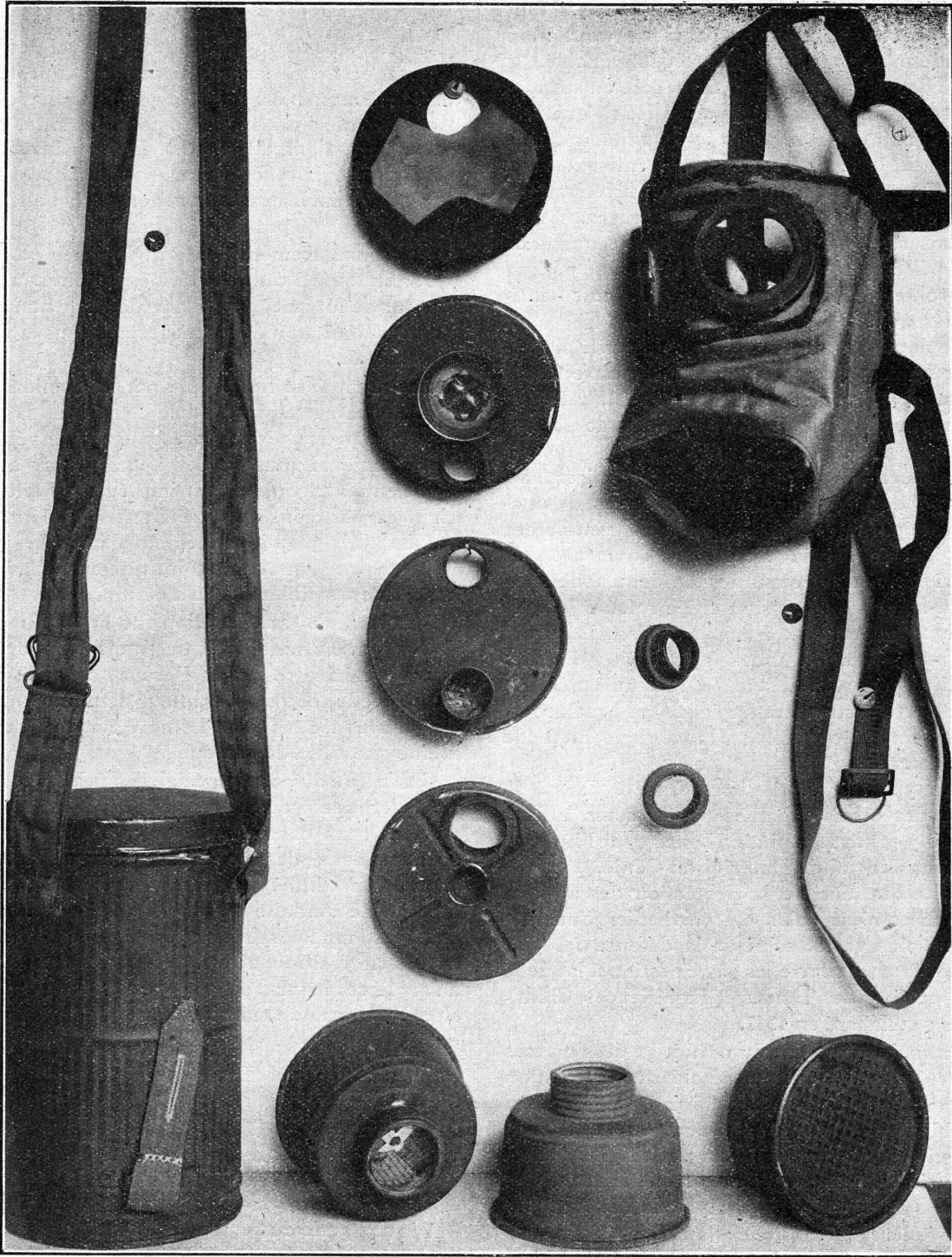


FIG. 19. — APPAREIL A. R. S. — MASQUE. — PIÈCES DÉMONTÉES DE L'EMBASE. — CARTOUCHE. — BOITE.



PROTECTION DES PIGEONS  
VOYAGEURS.

On eut enfin à se préoccuper de la protection des pigeons voyageurs, question qui fut résolue suivant les principes de la protection collective en entourant les cages d'étoffes imperméables aux gaz ou chargées de produits épurants.

LA FABRICATION INDUSTRIELLE  
DES ENGINs ANTI-ASPXYIANTS.

- La protection de l'homme contre les gaz de combat n'ayant jamais été envisagée avant la guerre actuelle, 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 confectonneurs, qui surent en quelques mois créer l'outillage et rassembler la main-d'œuvre nécessaire.

Les résultats indiqués ci-après démontrent l'effort considérable réalisé par les industriels et leur personnel :

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

Les cagoules ricinées atteignirent le nombre de 830.000 d'août 1915 à février 1916.

4.500.000 tampons P furent fabriqués d'août 1915 à janvier 1916, soit une moyenne de 30.000 tampons par jour. Les compresses qui devaient s'ajouter au tampon P pour le rendre polyvalent, furent fabriquées à raison de 50.000 par jour.

Ces appareils étaient envoyés aux armées dans des sachets dits sachets S2. Il en fut fabriqué environ 6.800.000 de juillet à décembre 1915, soit en moyenne 40.000 par jour.

Lorsque les masques T et TN furent mis en fabrication : 1.000.000 de masques T et 6.800.000 masques TN furent manufacturés à raison de 50.000 par jour dans la période de novembre 1915 à avril 1916.

A l'origine, les lunettes étaient séparées des appareils de protection des voies respiratoires. Il en fut fabriqué, avec des lunettes de différents types :

DATE	TYPE	QUANTITÉ MOYENNE	FABRICATION JOUR-NALIÈRE
Août 1915. . . . .	Lunettes simples (genre automobile).	800.000	30.000
Septembre 1915. . . . .	Lunettes loup, tissu imperméable.	700.000	20.000
Septembre- Octobre 1915. . . . .	Lunettes molletonnées pince-nez.	650.000	50.000
Septembre 1915 à Janvier 1916. . . . .	Lunettes molletonnées pince-nez, doubles attaches.	1.365.000	
Octobre 1915 à Février 1916. . . . .	Lunettes molletonnées ricinées, pince-nez, doubles attaches.	2.800.000	10.000 à 40.000
	Lunettes en caoutchouc molletonnées à vitres amovibles.	5.420.000	
Août 1915 à Avril 1916.	Lunettes pneumatiques Meyrowitz.	115.000	

L'emploi des lunettes avec vitres en verre ou en acétylcellulose a nécessité l'usage de crayons anti-buée. Dans la période d'octobre 1915 à décembre 1915 il en fut fabriqué 2.350.000.

La fabrication du masque M2 fut ensuite montée. Du 1<sup>er</sup> février 1916 au 11 novembre 1918 il en fut manufacturé 29.300.000, dont 700.000 de petite taille et 300.000 de grande taille.

Ces appareils étaient livrés dans des étuis métalliques dont il fut fabriqué 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 et en 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 tableau ci-après indique les productions mensuelles :

Novembre 1917 . . . . .	79.170
Décembre . . . . .	236.950
Janvier 1918. . . . .	299.350
Février . . . . .	459.300
Mars . . . . .	505.900
Avril . . . . .	636.000
<i>A reporter</i> . . . . .	2.216.670

1401  
341 E

Report . . . . .	2.216.670
Mai 1918 . . . . .	604.500
Juin . . . . .	550.200
Juillet . . . . .	416.400
Août . . . . .	467.700
Septembre . . . . .	464.800
Octobre . . . . .	330.800
Novembre . . . . .	220.400
SOIT AU TOTAL . . . . .	5.271.470

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.

Pour vérifier toutes ces fabrications, on organisa un service de contrôle comprenant :

Dans les usines, pour la surveillance et l'exécution des épreuves, des contrôleurs spécialistes rattachés à l'Établissement central du Matériel Chimique de Guerre;

Un laboratoire de contrôle entièrement indépendant, dont la direction fut confiée à M. Lebeau à l'École de Pharmacie. Le nombre total des masques essayés par ce laboratoire, jusqu'au 31 décembre 1918, dépassa 40.000.

La réussite de ces essais donnait la certitude que les engins fabriqués étaient bien conformes au modèle adopté.

En ce qui concerne les autres catégories d'appareils, il fut fabriqué :

80.000 appareils Draeger, d'avril 1915 à décembre 1918;

2.000 appareils Fenzy grand modèle, d'octobre 1916 à juin 1917;

1.200 appareils, dits de courte durée (Fenzy petit modèle), de mars à décembre 1917;

11.000 appareils respiratoires à oxylythe, de juin 1915 à septembre 1915;

101.000 appareils Tissot, grand modèle, complets, dans la période du 18 mai 1916 au 16 juillet 1918;

589.000 appareils Tissot, petit modèle, complets, dans la période du 1<sup>er</sup> avril 1917 au 31 janvier 1919.

Pour les appareils Tissot, il fut fabriqué 160.000 cartouches séparées pour appareil grand modèle, du 2 janvier au 10 juillet 1917, et 249.000 cartouches séparées pour appareil petit modèle, du 1<sup>er</sup> mars 1918 au 31 janvier 1919, enfin 725.500 masques et tuyaux entre le 31 mai 1916 et le 31 janvier 1919.

2.100 combinaisons spéciales complètes contre l'Ypérite furent fabriquées de juillet à octobre 1918.

Pour la protection collective il fut confectionné :

200.000 pulvérisateurs, de mai 1915 à septembre 1918;

85.000 récipients pour solutions neutralisantes, de décembre 1915 à juillet 1918;

900 caisses filtrantes Leclercq, du 1<sup>er</sup> janvier 1917 au 25 décembre 1918;

enfin un certain nombre d'appareils destinés à donner « l'alerte aux gaz » : 1.600 avertisseurs à air comprimé, 4.500 cloches, 3.200 sifflets à poire, 1.500 timbres, 300 sirènes et avertisseurs divers.

En ce qui concerne la protection des chevaux, il fut fabriqué :

20.000 appareils Lanusse, de septembre à décembre 1918;

200.000 appareils Decaux, de juin 1917 à décembre 1918.

## 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 com-

prenait, ni le chlore liquide ni le brome, et les quantités d'acide sulfurique alors manufacturées étaient à peine suffisantes pour les fabrications de poudres et d'explosifs.

Les services chimiques eurent donc à dé-



ployer des efforts exceptionnels pour doter nos armées des munitions à gaz qui leur manquaient.

Comme dans le cas du problème de la protection, nous examinerons successivement les recherches de laboratoire et la fabrication industrielle.

## RECHERCHES DE LABORATOIRE.

### I. RECHERCHES CHIMIQUES.

Dès sa constitution, la Commission des Gaz asphyxiants s'attacha à résoudre les deux problèmes de l'offensive, en tenant compte de la pauvreté du pays en usines de produits chimiques organiques :

Choix des produits agressifs à employer en obus.

Choix des produits agressifs à employer en vagues.

Deux conditions étaient à remplir par les produits envisagés :

**PRODUITS A CHARGER EN OBUS.** Être doués d'une action physiologique suffisante et s'adapter aux conditions d'emploi dans les projectiles.

Le seul corps agressif suffocant dont la fabrication fut immédiatement possible était le tétrachlorosulfure de carbone  $\text{CSCl}_4$  proposé par le professeur 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 un grand nombre d'obus furent chargés pour l'offensive de Champagne en septembre 1915; mais les propriétés insuffisantes de ce corps, dont l'emploi n'avait jamais eu d'autre prétention que de réaliser une solution de fortune, le firent abandonner rapidement.

Cette date de septembre 1915 marque le premier emploi d'obus à gaz par l'Armée française.

On fabriqua également à cette époque deux autres catégories d'obus chimiques, les uns à effets suffocants et incendiaires contenant une solution sulfocarbonique de phosphore, avec un cylindre en celluloïd, suivant la formule donnée par M. Urbain, les autres simplement incendiaires, contenant des bâtons de phosphore

immergés dans un liquide inerte d'après la formule de M. Job.

Pendant ce temps, et jusqu'à la fin des hostilités, un grand nombre de toxiques furent successivement préparés dans les laboratoires de chimie et examinés au laboratoire de physiologie au point de vue de leur agressivité.

Nous ne parlerons ici que des corps qui ont été définitivement adoptés.

Tout d'abord MM. Lebeau et Urbain proposèrent le phosgène et M. Lebeau 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; leur présence rendait de plus l'éclatement du projectile observable, grâce à la fumée qu'ils dégageaient.

Dans le cas de l'acide cyanhydrique, ces chlorures jouèrent également le rôle de stabilisant.

Il fut décidé dès le commencement des études, en juin 1915, qu'un certain nombre d'obus seraient chargés avec ces corps, 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 lacrymogène; mais comme on le prévoyait il ne tarda pas à utiliser des corps de grande toxicité. Dès le mois d'août 1915, il envoyait en effet sur nos troupes des obus chargés de chloroformiate de chlorométhyle, produit dont la toxicité est de l'ordre de celle du phosgène.

L'emploi de l'acide cyanhydrique fut rendu possible par M. Lebeau avec le mélange dénommé « vincennite » qui comprenait l'acide cyanhydrique, du chlorure d'étain, du chlorure d'arsenic et du chloroforme, suivant la formule adoptée par la Section d'Aggression dans sa séance du 18 décembre 1915.

Les premiers obus français au phosgène furent tirés à la bataille de Verdun à partir de février 1916; les premiers obus à la vincennite, le 1<sup>er</sup> juillet 1916 à la bataille de la Somme.

Ces deux mélanges, phosgène-chlorure stannique d'une part, vincennite d'autre part, jouissaient d'ailleurs de propriétés différentes. Au point de vue militaire, ils se rangeaient certes dans la même catégorie, celle des toxiques fugaces, mais leur action physiologique était différente.

Le phosgène, en effet, pouvait tuer très rapidement, mais, en général, il avait plutôt une action retardée; des hommes qui en respiraient de petites quantités continuaient à combattre et tout d'un coup, quelques heures, quelquefois un jour ou deux après l'inhalation, se sentaient indisposés et mouraient subitement. De plus, à des doses non mortelles, le phosgène avait encore une action très énergique et mettait très rapidement les hommes hors de combat. La vincennite au contraire *tuait immédiatement*; elle avait un effet foudroyant, ce qui lui conférait un effet moral considérable dont il fut trouvé trace dans des ordres émanant d'États-majors ennemis.

Le général commandant le 9<sup>e</sup> corps allemand dans un ordre datant d'octobre 1916, s'exprimait ainsi :

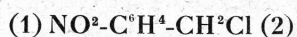
« L'ennemi a employé des obus asphyxiants à effets très rapides et mortels. Il a été presque impossible de mettre les masques à temps. »

Par contre, au-dessous de la dose mortelle, l'action de la vincennite était moins intéressante que celle du phosgène; elle ne laissait pas de traces.

A la suite de la décision prise au début de réserver l'emploi de l'acide cyanhydrique et du phosgène, 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 1915, trois corps furent pris en considération :

L'iodacétone  $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_2\text{I}$ , étudiée par MM. Bertrand, Grignard, Kling et Lebeau;

Le chlorure d'orthonitrobenzyle



étudié par M. Moureu;

L'iodure de benzyle,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_2\text{I}$  étudié par M. Moureu.

Ces trois corps étaient plus ou moins fortement lacrymogènes; le chlorure d'orthonitro-

benzyle seul était doué d'une certaine toxicité, très relative d'ailleurs. Ils ne pouvaient ni les uns ni les autres supporter le contact du métal de l'obus; aussi fut-on obligé de faire des obus à vases intérieurs en plomb.

A cause des difficultés de fabrication et de chargement, du prix élevé des dérivés iodés et de leur faible toxicité, il ne fut chargé avec ces substances qu'un nombre assez restreint de projectiles.

Un autre corps retint l'attention dès 1915, ce fut la chloropicrine  $\text{CCl}_3\text{NO}_2$ , à la fois toxique et lacrymogène, proposée par M. le prof. Haller, étudiée en particulier, séparément par M. Bertrand et le commandant Nicolardot. Ce corps fut chargé en obus à partir de 1916 et a figuré depuis, en quantités importantes, dans les approvisionnements de l'armée.

Dès juillet 1915, l'attention fut également attirée sur l'acroléine (aldéhyde acrylique  $\text{CH}_2=\text{CH-CHO}$ ), 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 toute propriété agressive. Un mode excellent de stabilisation fut trouvé par M. Moureu.

Ce corps fut surtout chargé en grenades et remplaça au commencement de 1916 les substances qui servaient jusqu'alors, le bromacétate d'éthyle et la chloracétone, simplement lacrymogènes.

Toutes les grenades spéciales furent depuis lors chargées de ce corps éminemment toxique et lacrymogène.

Les corps employés par les Allemands furent également l'objet de recherches dans les laboratoires français pour examiner les possibilités de fabrication et faire la comparaison 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 et les physiologistes français donnèrent définitivement leur préférence au phosgène dont les propriétés physiologiques sont équivalentes à celles des deux corps précédents.



FIG. 20. — DÉSINFECTION D'UNE TRANCÉE  
PAR PULVÉRISATION VERMOREL.



FIG. 21.

FIG. 22. — APPAREIL RESPIRATOIRE.



FIG. 23. — COMPAGNIE D'INFANTRIE DÉFILANT  
MUNIE DE MASQUES.



La bromacétone fut étudiée au laboratoire de M. Moureu 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 et chargée dans des obus verrés, ce corps ne supportant ni le contact du métal, ni le mélange avec les fumigènes.

C'est à l'occasion de ce toxique que M. Triquet, de la Cristallerie de Choisy-le-Roi, établit son procédé de verrage des obus, qui donna toute satisfaction.

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

Le chlorosulfate 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 surtout des bombes pour mortiers de tranchée.

Le chlorosulfate de méthyle, qui rentrait dans la composition du liquide recueilli dans les projectiles allemands employés en août 1915 à Neuville-Saint-Vast, ainsi que l'avaient montré les analyses simultanées et concordantes de MM. Kling et Simon, 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 faire entreprendre l'étude complète dès octobre 1915.

Les essais physiologiques établirent que ce produit avait des propriétés lacrymogènes et toxiques intéressantes, supérieures à celles de son homologue supérieur, le chlorosulfate d'éthyle.

L'emploi de ce produit, d'abord adopté en 1915, fut écarté par la suite en présence de toxiques plus efficaces.

Comme conséquence des recherches sur le chlorosulfate de méthyle et à la suite d'un échange d'idées *a priori* entre M. Mayer et M. Simon, ce dernier entreprit des recherches sur le mélange toxique de sulfate de méthyle et de chlorhydrine sulfurique dénommé « rationite » pour rappeler son origine. Il fut adopté en 1917 et expédié aux armées en 1918.

Le chlorosulfate de méthyle fut également étudié au laboratoire de M. Grignard.

En 1916 également, M. Job entreprenait des recherches sur les lacrymogènes et, à la séance de la Section d'Aggression du 30 août de la même année, indiquait les propriétés et le mode de préparation du nitrile phénylacétique  $\alpha$ -bromé,  $C^6H^5-CHBr-CN$ . 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'à la séance du 18 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.

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

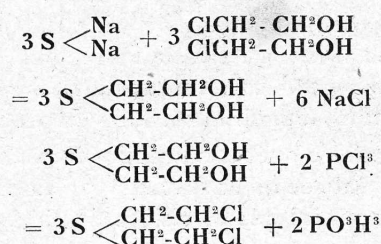
Ce corps n'avait pas échappé aux services chimiques français. Un officier, le médecin aide-major Chevalier, avait, au commencement de 1916, attiré l'attention sur lui. Une étude chimique fut entreprise au laboratoire de M. Moureu et une étude physiologique au laboratoire de M. Mayer.

Cette substance avait été déjà décrite nettement pour la première fois par un Allemand Victor Meyer, en 1884. Dans son mémoire, Meyer parlait de l'action vésicante exercée par ce corps, mais il disait que cette action était sélective, qu'il agissait sur la peau de certains chercheurs et était sans action sur celles d'autres chimistes. 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 en fit ressortir l'action vésicante et la toxicité, plus faible que celle de corps déjà fabriqués en abondance, n'en firent pas considérer la mise en fabrication comme immédiatement nécessaire.

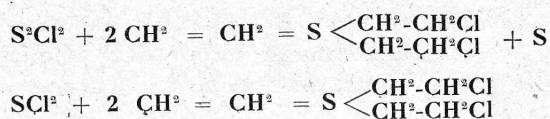
C'est donc seulement en juillet 1917, après le bombardement d'Ypres par les Allemands, que le sulfure d'éthyle dichloré fut adopté comme toxique vésicant.



Aussitôt, le laboratoire de M. Moureu continua à étudier la fabrication d'après le procédé de Meyer, c'est-à-dire à partir de la monochlorhydrine du glycol, réaction correspondant au système suivant d'équations :



D'autre part, M. Job entreprit l'étude des réactions signalées par Guthrie en 1860 :



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

Dans le courant du mois de novembre 1917, M. Job d'une part, 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, après entente avec la Section technique et industrielle, il donnait ses indications au directeur d'une usine pour des essais en grand avec le monochlorure de soufre et l'éthylène sous pression.

Les essais commencèrent aussitôt dans diverses usines.

Nos alliés anglais suivaient d'ailleurs une évolution analogue presque à la même époque.

Le 16 janvier, dans une note transmise à l'Inspection des Études et Expériences Chimiques le 27, le prof. Pope annonçait des résultats analogues.

Il semble cependant, ainsi que cela ressort d'une mission qui fut confiée 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 résulta que la France fut, parmi les nations alliées, la première à fabriquer l'Ypérite, et bientôt en quantité considérable, et qu'elle put communiquer à ses alliés les renseignements nécessaires au montage de leurs usines. Il lui fut même possible de céder des obus à Ypérite à différentes nations : Belgique, Etats-Unis, Grèce, Italie.

M. Grignard et M. Simon étudièrent indépendamment l'un de l'autre des questions physico-chimiques concernant l'Ypérite du plus grand intérêt au point de vue de son utilisation militaire ; on peut dire d'ailleurs que tous les laboratoires se sont occupés de ce corps.

L'Ypérite allemande, au contraire, 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 des Ypérites allemandes, et M. Delépine par la détermination du soufre oxydable en acide sulfurique de ces mêmes Ypérites.

Enfin les recherches entreprises par MM. Job, Moureu, Bougault, Tiffeneau et Valeur sur la série des arsines venaient d'aboutir à des résultats du plus haut intérêt.

Tel est rapidement esquissé le résultat pratique des recherches effectuées par les laboratoires français qui se consacraient aux gaz asphyxiants. Mais combien de corps ont été examinés en dehors de ceux qui ont été retenus. Il faudrait des volumes entiers pour relater tous ces travaux.

Disons seulement que la Section des Produits agressifs s'est réunie 70 fois du 17 septembre 1915 au 11 novembre 1918 et qu'elle a discuté 984 rapports (la Section de Protection s'est réunie 64 fois dans le même temps et a examiné 979 rapports).

Pour chaque corps étudié, de nombreuses épreuves étaient imposées dont il devait sortir victorieux. Tout d'abord, le corps examiné devait être stable dans les conditions d'emploi en obus, avec ou sans fumigène et d'une préparation industrielle facile, tant au point de vue des installations

que de l'approvisionnement en matières premières. Lorsque les épreuves chimiques étaient terminées, se présentaient les épreuves physiologiques destinées à mesurer le degré de toxicité, les pouvoirs lacrymogène, irritant, caustique, etc. Enfin les épreuves militaires permettaient d'établir le mode de chargement et l'efficacité réelle sur le terrain, au moyen de tirs réels exécutés dans les conditions du champ de bataille.

Malgré l'importance de tous ces travaux, le personnel des 16 laboratoires de l'Inspection des Études et Expériences Chimiques n'a jamais dépassé 110 chimistes. On peut ainsi juger de l'effort que ces techniciens ont dû fournir, d'autant plus qu'un certain nombre d'entre eux ont été intoxiqués plus ou moins grièvement et obligés de suspendre leur service pendant plusieurs mois.

### LES PRODUITS POUR VAGUES.

Les vagues sont des nuages de gaz nocifs de grande étendue formés 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 forte densité de vapeur et de bas point d'ébullition. Au point de vue militaire, l'émission d'une vague nécessite un gros travail préalable, car il faut d'avance disposer un grand nombre de bouteilles à gaz dans des abris bien défilés et camouflés. Il faut parfois attendre très longtemps 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, une vitesse inférieure à un mètre par seconde est dangereuse pour les troupes amies, à cause des remous et des retours de gaz qui peuvent se produire.

La vague allemande du 22 avril 1915 avait montré en 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 des vagues transparentes pour réaliser, au moins par les nuits claires, un effet de surprise, et de faire des vagues opaques dans lesquelles on ne verrait pas à un

mètre devant soi, afin de provoquer un effet moral considérable en isolant complètement les combattants.

Pour faire des vagues opaques, on chercha à utiliser le mélange de chlore et de chlorure fumigène. La méthode imaginée par l'Ingénieur du Génie maritime Cartier, adoptée par la Commission des Etudes Chimiques dans sa séance du 4 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.

Au champ d'expériences, les chimistes, se protégeant avec des masques, durent faire des prélèvements dans les vagues, à des distances différentes, pour étudier la variation de la concentration avec la distance et par suite déterminer le nombre des bouteilles de gaz liquéfié à mettre en ligne pour atteindre la concentration voulue, à une distance déterminée. Au laboratoire, ils durent étudier les constantes des mélanges expérimentés (en particulier : les densités, densités de vapeurs, coefficients de dilatation) ainsi que l'attaque possible des métaux par ces mélanges. Les météorologistes durent étudier le régime des vents dans une région déterminée. Les mécaniciens durent s'occuper de la construction des cylindres, des détenteurs, des appareils de jonction, etc.

De nombreuses études furent faites dans ce domaine sous la direction des capitaines Bied-Charreton et Beccat avec la collaboration des laboratoires des professeurs Delépine et Urbain et de M. Kling.

Les vagues ne furent naturellement 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 km. ; chacune de ces dernières exigeait l'emploi de 6.000 bouteilles, contenant 240.000 kgr. de produits. Elles faisaient des victimes jusqu'à 10 et 15 km. de profondeur.



## II. RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES.

Le laboratoire de physiologie dirigé par M. Mayer jouait un rôle essentiel dans la recherche des corps toxiques nouveaux. Il s'agissait non seulement de reconnaître si les corps préparés par les chimistes présentaient telle ou telle propriété physiologique nocive, mais encore d'établir leur degré de nocivité. Il fallut donc établir toute une série de méthodes nouvelles pour mesurer les divers effets physiologiques, ce qui nécessita un travail de science pure considérable, qui amena la découverte d'un certain nombre de faits. Au moyen de ces mesures, on appréciait comparativement les qualités des divers échantillons présentés par les chimistes.

Quand les premiers essais montraient l'intérêt d'un produit nouveau, toute la série chimique à laquelle il appartenait était systématiquement étudiée. En même temps, on montait des expériences en grand sur les polygones de Fontainebleau ou d'Entressen. Enfin, si la substance nouvelle était jugée digne d'en-

trer dans les chargements d'obus spéciaux, dès qu'elle était mise en fabrication, les échantillons fournis, soit par les Établissements de l'État, soit par les usines privées, étaient envoyés au Service de Physiologie, qui vérifiait si ces échantillons étaient conformes, au point de vue des propriétés agressives, à ceux qui avaient été étudiés lors des premières recherches.

Les questions traitées par les services de physiologie ont donné lieu à un mouvement d'études considérables. Pour en donner une idée, nous citerons quelques chiffres : le service des intoxications a utilisé plus de 16.000 chiens, le service d'histologie a étudié au microscope plus de 800 organes par mois, le service de spectroscopie a fait en moyenne plus de 600 examens par an.

Dans l'ensemble, il est sorti du service de physiologie, depuis novembre 1915 jusqu'à la fin des hostilités, 750 études et mémoires. Ces études ont pu être menées très rapidement, grâce à une organisation systématique du travail et au dévouement des techniciens.

## 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, fumi-gènes destinés à alourdir les vapeurs et à rendre visibles les points d'impact, 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 de développement, en raison de la rareté et du prix excessif de la matière première.

Or, la France ne produisait ni chlore liquide ni brome et la déclaration de guerre avait naturellement arrêté les importations de ces produits car ces corps venaient d'Allemagne. Il restait le chlore gazeux préparé par des méthodes chimiques diverses (Weldon, Deacon, etc.) et de petites quantités de brome qu'on pouvait faire venir des États-Unis.

Il fallut 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 en provenance d'Angleterre et d'Italie, mais les disponibilités ainsi recueillies étaient bien inférieures aux besoins. Il fallut donc 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 ont dû être réalisés 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.

7 usines électrochimiques, presque toutes hydroélectriques, furent montées :

a) L'usine de la *Société Le Chlore liquide*, à Pont-de-Claix (Isère), ouverte à la fin de mars 1916, utilisant le procédé de Monthey;

b) l'usine de la *Société d'Électro-Chimie*, à Plombières-Saint-Marcel (Savoie), mise en route en avril 1916 (procédé Outhenin-Chalandre);

c) l'usine de la *Compagnie des Produits chimiques d'Alais et de la Camargue*, à Saint-Auban (Basses-Alpes), mise en route à la fin d'août 1916 (procédé Solvay);

d) l'usine des *Établissements Chiris et Jean-card*, à Baus-Roux (Alpes-Maritimes), mise en route en novembre 1916 (procédé de Monthey);

e) l'usine de la *Société chimique des Usines du Rhône*, à Roussillon (Isère), mise en route à la fin de novembre 1916 (procédé de Monthey);

f) l'usine de la *Société des Produits chimiques et Colorants français*, à Jarrie-Vizille (Isère), mise en marche en décembre 1916 (procédé Outhenin-Chalandre);

g) l'usine de la *Société des Forces motrices de la Garonne*, à Mancieux (Haute-Garonne), ouverte en mars 1917 (procédé Outhenin-Chalandre).

De plus, en avril 1918, le service des Poudres passa aux services chimiques les usines qui lui fabriquaient du chlore, c'est-à-dire :

h) l'ancienne usine de la *Société d'Électro-Chimie*, à Plombières-Saint-Marcel (Savoie);

i) l'usine *Meillassoux*, à Beaucaire (Vaucluse) (procédé de la Griesheim Electron);

j) l'usine de la *Société l'Air liquide*, à Monttereau (Seine-et-Marne) (procédé de Monthey);

k) l'usine de la *Société des Produits chimiques de Paimbœuf* (Loire-Inférieure) (procédé Outhenin-Chalandre).

Dans l'ensemble, à la date du 11 novembre 1918, ces usines avaient produit pour la fabrication des gaz asphyxiants 23.900 tonnes de chlore dont environ 12.500 tonnes en chlore liquide et 11.400 tonnes à l'état de chlorure de chaux.

#### LE PROBLÈME DU BROME.

Le problème de l'extraction du brome fut aiguillé tout d'abord vers l'utilisation des eaux-mères des salines terrestres, des cendres de varech 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 elles furent reconnues propres à alimenter une usine à brome, mais on donna la préférence à la Sebka el Melah près de Zarzis, à 600 kilomètres au sud de Tunis, dont les eaux-mères inépuisables pouvaient fournir toutes les quantités de brome nécessaires.

L'usine de Zarzis, établie en deux mois dans l'Extrême Sud et exploitée avec le concours du Service des Travaux publics de la Régence, fut mise en route vers mars-avril 1916 et produisit en totalité 856 tonnes de brome avec lesquelles le Service du Matériel Chimique put non seulement faire face aux besoins de ses propres fabrications de gaz asphyxiants, mais encore ravitailler l'industrie française et les alliés européens.

#### LA FABRICATION DES GAZ ASPHYXIANTS.

Les gaz asphyxiants furent fabriqués dans des usines privées, mais certaines installations furent faites avec une subvention de l'État; quelques usines furent exploitées en régie, surtout au début des fabrications nouvelles, sous le contrôle de la Section technique et industrielle.

Les usines qui se chargeaient de fabriquer un produit nouveau étudié par les laboratoires de l'Inspection des Études et Expériences Chimiques, étaient guidées dans leur fabrication par l'un des chimistes qui avaient participé à son étude. Pour l'Ypérite, le laboratoire de physiologie intervint d'une façon toute spéciale dans la surveillance des fabrications. Il mesurait sur des chevaux le pouvoir vésicant des échantillons qui lui étaient envoyés; le résultat permettait d'établir si la fabrication était bien ou mal conduite.

La mise au point et le développement de ces fabrications entièrement nouvelles font le plus grand honneur à l'industrie française; il con-



FIG. 24. — SOLDATS MUNIS DE MASQUE REVÊTANT LEUR VÊTEMENT DE CAOUTCHOUC.

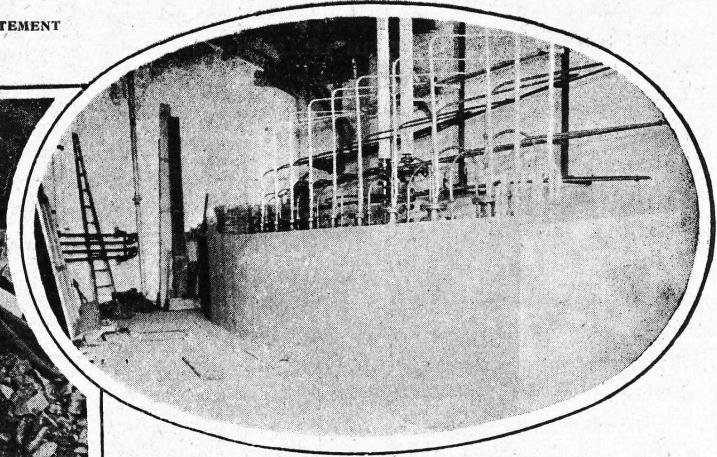


FIG. 25. — CUVE FRIGORIFIQUE OU S'EFFECTUE LE MÉLANGE DU PHOSGÈNE ET DU CHLORURE D'ÉTAIN.

FIG. 26. — POSTE DE VIDANGE DES BOUTEILLES DE PHOSGÈNE DANS LA MÉLANGEUSE.

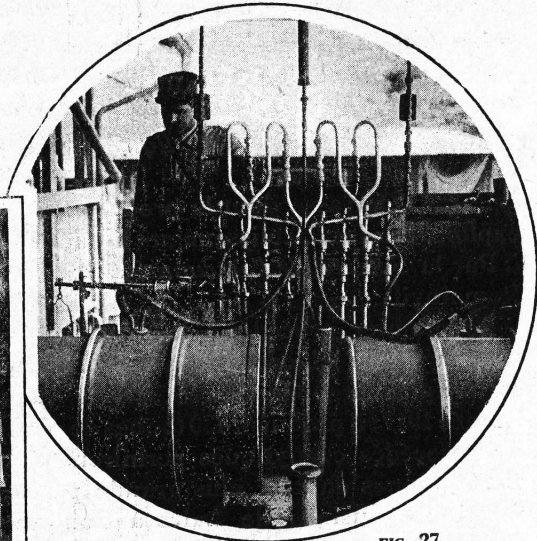
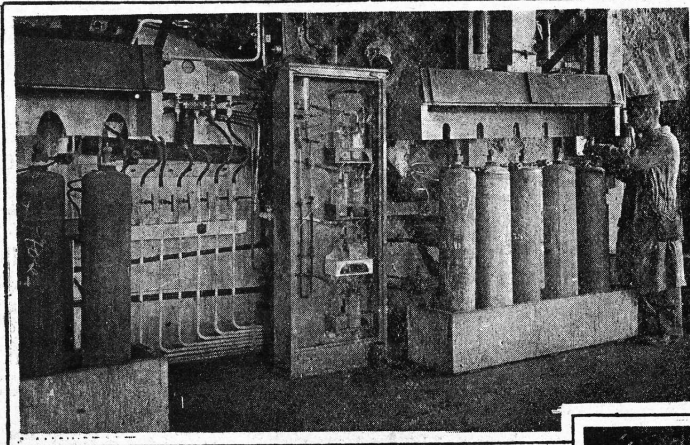


FIG. 27. — POSTE DE VIDANGE DU FUMIGÈNE CHLORURE STANNIQUE.

FIG. 28. — 75 EN ACTION. — ARTILLEURS MUNIS DE MASQUES.

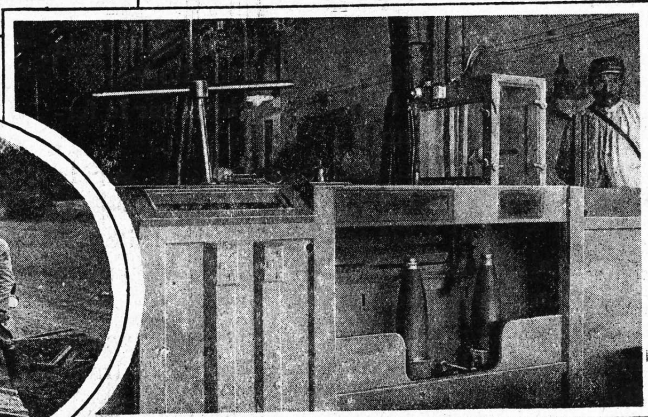
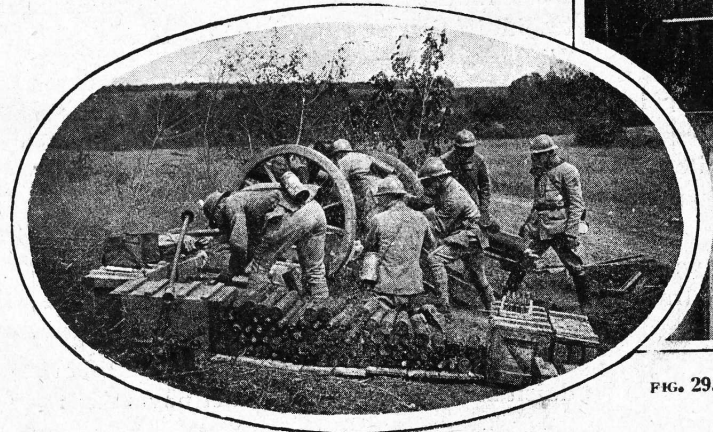


FIG. 29. — ATELIER D'AUBERVILLIERS-CHAPELLE VENTILÉ POUR LE CHARGEMENT DES OBUS LOURDS EN PHOSGÈNE.

vient toutefois d'insister sur ce fait que les procédés utilisés avaient, dans presque tous les cas, leur origine dans les recherches des laboratoires. Les résultats ainsi obtenus mettent en évidence le bénéfice brillant qu'il est possible de tirer d'une collaboration intime des savants et des industriels, lorsque leurs efforts sont dirigés vers le même but.

I. *Phosgène*. — Deux procédés de fabrication furent employés :

1° La réaction de l'oléum sur le tétrachlorure de carbone; M. Grignard étudia cette fabrication et y apporta divers perfectionnements;

2° La combinaison directe du chlore et de l'oxyde de carbone en présence d'une matière catalysante.

Cette fabrication fut montée dans l'industrie suivant quatre modalités distinctes :

Par M. de Laire qui utilisait un brevet étranger,

Par la *Société de l'Air liquide*, d'après la méthode de M. Simon,

Par M. Darrasse dont le procédé fut ensuite exploité par les Établissements Poulenc,

Par la *Société de l'Accumulateur alcalin*, à Romainville.

Le premier procédé à l'oléum, qui laissait une partie du chlore à l'état de chlorhydrine sulfurique, fut abandonné dans le début de l'année 1917; il produisit 430 tonnes de phosgène. Les procédés catalytiques permirent d'obtenir 15.370 tonnes dont la plus grande partie provenait des usines de Laire à Pont-de-Claix (Isère) d'une part et à Calais d'autre part.

La production totale a donc été de 15.800 tonnes.

2° *Vincennite*. — L'acide cyanhydrique de la vincennite fut fabriqué par deux méthodes :

1° Par action de l'acide sulfurique sur le ferrocyanure de sodium,

2° Par action de l'acide sulfurique sur le cyanure de sodium.

Il fut produit 1.374 tonnes de vincennite par le premier procédé et 2.786 tonnes par le deuxième, soit en tout 4.160 tonnes.

3° *Acroléine*. — Ce corps fut obtenu par la méthode classique, c'est-à-dire par déshydratation de la glycérine au moyen du bisulfate de potasse.

Il en fut fabriqué 183 tonnes.

4° *Chloropicrine*. — Elle fut préparée par l'action du chlorure de chaux sur l'acide picrique. Il en fut manufacturé 49,3 tonnes.

5° *Bromacétone*. — Elle fut produite par action directe du brome sur l'acétone, en présence de chlorate de soude, d'acide sulfurique et d'eau. Il en fut fabriqué 481 tonnes.

6° *Sulfure d'éthyle dichloré*. — Le développement de la fabrication de l'Ypérite fut, comme celui de l'industrie du chlore et du phosgène, un succès considérable à l'actif de l'industrie chimique française.

Les recherches théoriques se poursuivirent, d'une part, dans les laboratoires d'études de l'Inspection des Études et Expériences Chimiques, d'autre part, au laboratoire de recherches de la *Société Chimique des Usines du Rhône*.

Celui-ci arriva le premier à la solution du problème industriel. Il mit au point un procédé permettant la fixation continue de l'éthylène sur le bichlorure de soufre au sein du tétrachlorure de carbone et la fabrication commença à l'usine de Roussillon au milieu de mars 1918. Cette fabrication, dont le débit s'accrut très rapidement, permit d'envoyer les premiers obus à Ypérite aux armées françaises vers la fin de mai.

De mars 1918 à l'armistice, la *Société Chimique des Usines du Rhône* produisit 1.509.439 kilos d'ypérite.

Le soufre venait d'Italie, une partie du tétrachlorure de carbone venait des États-Unis, la fabrication française de ce dernier produit étant insuffisante.

Le procédé au bichlorure de soufre fut également monté à la Poudrerie d'Angoulême sur les indications de la *Société Chimique des Usines du Rhône*.

Les travaux commencèrent en juillet 1918 et la production commença le 2 octobre. Le jour de l'armistice, 77.884 kilos d'Ypérite y avaient été produits.

Le procédé au protochlorure de soufre fut monté dans plusieurs usines :

a) A l'usine de la *Société le Chlore liquide* à Pont-de-Claix (Isère) qui commença sa fabrication vers le milieu de mars 1918 et produisit 290.941 kilos jusqu'au 11 novembre ;



b) A l'usine de la *Société de Savonnerie et de Stéarinerie de Lyon*, qui produisit 89.810 kilos à partir d'avril 1918.

La fabrication d'ensemble suivit la marche ascendante suivante :

Mars 1918. . . . .	241 kilos
Avril . . . . .	6.980 —
Mai. . . . .	152.269 —
Juin. . . . .	205.809 —
Juillet. . . . .	266.336 —
Août. . . . .	283.245 —
Septembre. . . . .	342.082 —
Octobre. . . . .	507.021 —
Novembre (11 jours) 1918. . . . .	204.091 —

AU TOTAL. 1.968.074 kilos

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 cette fabrication par M. Loucheur, Ministre de l'Armement et des Fabrications de Guerre, et aux efforts des deux officiers chargés d'organiser cette fabrication, 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 de toutes ces 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 parmi les munitions françaises fit la plus grande impression dans les rangs ennemis. Les ordres émanant des États-majors ennemis, en sont l'attestation la plus formelle.

7° *Produits divers*. — On peut encore citer parmi les produits fabriqués :

Rationite. . . . .	40 tonnes
Chloroformiate de méthyle chloré. . . . .	79 —
Iodure de benzyle. . . . .	90 —
Chlorosulfate d'éthyle. . . . .	71 —
Iodacétone . . . . .	36 —

8° *Chlorures fumigènes*. — Il en fut fabriqué :

Chlorure stannique. . . . .	4.116 tonnes
Chlorure d'arsenic. . . . .	2.710 —
Chlorure de titane. . . . .	191 —

## LES CHARGEMENTS DE PROJECTILES.

Le chargement des gaz asphyxiants dans les projectiles mit encore les services chimiques en présence de problèmes tout à fait nouveaux.

Nous avons déjà eu l'occasion de faire allusion à l'action possible du métal de l'obus sur le produit à y introduire. Cette action n'était pas à redouter dans tous les cas. C'est ainsi que le phosgène et la vincennite, par exemple, purent être directement chargés dans les corps d'obus habituels.

D'autres produits au contraire, déjà mentionnés, exigèrent des revêtements intérieurs inertes, isolant le métal du produit asphyxiant.

En octobre 1915, cette question fut résolue tout d'abord par l'introduction d'une chemise de plomb.

A la même époque, à la séance du 11 octobre 1915 de la Section des Produits agressifs, fut présenté un obus à revêtement intérieur de verre, préparé par les Cristalleries de Choisy-le-Roi, sur les indications de l'Ingénieur du Génie maritime Cartier.

Cet obus, examiné au laboratoire de M. Urbain, fut reconnu comme présentant un intérêt tout particulier. La fabrication en fut complètement mise au point par M. Triquet, des Cristalleries de Choisy-le-Roi, qui parvint par la suite à réaliser un dispositif permettant de charger isolément le chlorure fumigène quand il ne pouvait pas être mélangé avec le toxique. On ajoutait à la gaine centrale un tube émaillé dans lequel on introduisait le fumigène. Cette fabrication des gaines émaillées fut particulièrement délicate et M. Triquet consacra tous ses soins à la perfectionner.

Pour les obus à gaz, la difficulté à vaincre était d'obtenir l'étanchéité parfaite. Ce problème fut résolu à l'atelier de chargement d'Aubervilliers en 1915 par l'adjonction, entre l'œil de l'obus et la gaine, d'une couche de ciment et d'une rondelle métallo-plastique formant joint.

Les études relatives à l'emploi des gaz par l'artillerie : règle de tir, nature des fusées à employer, charges de l'amorçage etc., furent traitées avec l'active collaboration du capitaine Nebout, qui effectua également tous les essais de tir des produits proposés par les laboratoires avant l'adoption définitive.

**LES ATELIERS DE CHARGEMENT.**

Si la fabrication des gaz asphyxiants représente une industrie dangereuse, il en est de même du chargement de ces produits dans les obus. Ces opérations demandent des précautions spéciales, surtout avec les produits très volatils comme le phosphore et l'acide cyanhydrique.

Il fallut organiser des installations entièrement nouvelles. Le colonel Thouvenin (décédé en 1917) assisté du capitaine Schmidt et du lieutenant Pargond, ce dernier spécialiste de l'industrie des gaz liquéfiés, furent chargés, en juillet 1915, de créer l'atelier d'Aubervilliers, d'où devaient sortir les obus toxiques, tandis qu'un autre atelier était créé à Vincennes pour les obus incendiaires et lacrymogènes.

L'installation pour le chargement du phosphore comportait le refroidissement à -10° du mélange à charger et à 0° des obus à remplir. Les émanations étaient aspirées par une canalisation et conduites dans des colonnes d'épuration à ruissellement de soude. Les dispositifs ingénieux établis par le sous-lieutenant Langlais à l'atelier de chargement d'Aubervilliers pour assurer l'hygiène des travailleurs, ont été récompensés par un prix Monthyon décerné par l'Académie des Sciences. Il n'est pas possible dans cet exposé de s'étendre davantage sur cette question qui nécessiterait de trop larges développements. Du 1<sup>er</sup> juillet 1915 au 11 novembre 1918, les quantités de projectiles chargés s'élevèrent à :

Obus de 75 . . . . .	13.493.000
Obus lourds de 105 à 155 et bombes . . . . .	3.930.000
Grenades . . . . .	1.140.000

La progression des chargements en Ypérite fut la suivante :

Année 1918	obus de 75	obus de 105	obus de 155
Avril . . . . .	10.762	»	»
Mai . . . . .	205.421	5.989	423
Juin . . . . .	372.146	13.268	1.643
Juillet . . . . .	294.632	18.627	6.315
Août . . . . .	425.902	11.625	11.021
Septembre . . . . .	425.248	14.398	30.987
Octobre . . . . .	351.852	18.076	64.234
Novembre (11 jours) . . . . .	86.371	8.827	27.412
TOTAL . . . . .	2.172.334	90.810	142.035

**APPAREILS LANCE-FLAMMES.**

L'étude et la mise au point de ces appareils dont les premiers modèles avaient été établis en 1915 et 1916 par le capitaine Schilt, du régi-

ment des sapeurs-pompiers de Paris, furent confiées aux services chimiques. Après de nombreux essais, les capitaines Bied-Charreton et Cantin arrivèrent à doter nos Armées d'appareils aussi légers et aussi maniables que possible. Le laboratoire de M. Urbain leur prêta son concours pour l'étude des liquides inflammables à employer.

**INSTRUCTION DES TROUPES.**

Une autre mission, qui échet à l'Inspection des Études et Expériences Chimiques, fut d'instruire les officiers sur toutes les questions relatives à la guerre des gaz. A cet effet, un « Cours spécial sur l'emploi militaire des gaz » fut créé en Août 1916 à l'École de Pharmacie, sous la direction du commandant Tassilly.

Ce cours fut suivi chaque semaine par 300 officiers, dont 80 % venaient des armées et 20 % des dépôts de l'intérieur. Il commençait par une série de conférences faites par les spécialistes de l'Inspection des Etudes et Expériences Chimiques sur les différentes questions de la guerre des gaz, aussi bien en ce qui concerne la protection qu'en ce qui intéresse l'attaque :

Propriétés générales des gaz de combat . . . . .	Professeur Terroine
Obus à gaz . . . . .	Capitaine Nebout
Vagues . . . . .	Capitaine Bied Charreton
	puis
Protection individuelle . . . . .	Capitaine Beccat
Protection collective . . . . .	D <sup>r</sup> Banzet puis M. Defacqz
Thérapeutique . . . . .	Commandant Tassilly
Organisation du Service des gaz dans l'Armée allemande . . . . .	D <sup>r</sup> Flandin

Ces conférences étaient suivies d'exercices sur le terrain, au champ d'expériences de Satory, d'une séance de tir commentée au polygone de Fontainebleau et de conférences spéciales pour les officiers des états-majors d'artillerie.

Il fut ainsi instruit environ 14.000 officiers français de tous grades dont 110 généraux, et 200 officiers des armées alliées. On profitait de leur passage pour recueillir leurs propres observations du champ de bataille. Tous recevaient un questionnaire dans lequel il leur était demandé en particulier : s'ils avaient reçu des gaz, si leur unité avait été très éprouvée, des détails sur les attaques par gaz auxquelles ils avaient assisté, ce qu'ils pensaient des appa-



reils de protection, etc. Toutes leurs réponses furent dépouillées à l'Inspection des Études et Expériences Chimiques qui en retira des renseignements précieux pour les études en cours.

#### L'AIDE DES ALLIÉS A LA FRANCE.

La France reçut de ses alliés un secours appréciable sous la forme de cessions de matières premières. De fortes quantités de chlore liquide lui parvinrent d'Angleterre (1.000 tonnes) et une certaine quantité d'Italie en 1915. L'Amérique en fournit par la suite un peu plus de 1.000 tonnes en 1916-1917-1918.

Entre autres choses, l'Angleterre fournit aussi à la France du chlorure de chaux et du cyanure de sodium et tout le sulfate de nickel nécessaire à l'imprégnation des masques du premier type.

L'Amérique fournit à la France du formol et du trioxyméthylène pour l'imprégnation des masques du premier type, du tétrachlorure de carbone, qui fut de la plus grande utilité pour la fabrication de l'Ypérite par la méthode de la Société Chimique des Usines du Rhône, du cyanure de sodium, et enfin de la gaze pour les masques imprégnés.

L'Italie céda à la France le soufre nécessaire pour fabriquer l'Ypérite.

Sauf en 1915, où l'Angleterre céda à la France un certain nombre de cagoules, la France ne distribua à ses troupes que des appareils de protection imaginés et manufacturés en France.

De même, en ce qui concerne les gaz asphyxiants pour obus, tous les obus à gaz distribués aux batteries françaises furent chargés avec des gaz asphyxiants manufacturés en France. La seule commande faite à l'étranger fut celle de 300 tonnes de chloropicrine aux États-Unis; mais ce produit n'étant arrivé dans un port français que dans le courant d'octobre 1918, ne put être amené aux ateliers de chargement avant la signature de l'armistice.

#### L'AIDE DE LA FRANCE A SES ALLIÉS.

Si la France fut obligée de demander certaines matières premières à ses alliés, soit que la production française fût inexistante, soit qu'elle fût insuffisante, elle put au contraire leur céder des appareils de protection, des obus spéciaux et des gaz, c'est-à-dire des appareils, engins et pro-

duits manufacturés en France, réalisation de la pensée française.

#### CESSIONS D'APPAREILS DE PROTECTION.

Belgique . . . . .	880.000	appareils divers
États-Unis . . . . .	807.000	—
Grèce . . . . .	500.000	—
Italie . . . . .	815.000	—
Roumanie . . . . .	230.000	—

#### CESSIONS D'OBUS A GAZ.

Belgique . . . . .	193.500	obus de divers calibres.
États-Unis . . . . .	948.000	—
Grèce . . . . .	12.000	—
Italie . . . . .	92.000	—
Portugal . . . . .	46.000	—
Russie . . . . .	12.000	—
Roumanie . . . . .	50.000	—

#### CESSIONS DE GAZ ASPHYXIANTS.

Angleterre . . . . .	7.000 tonnes, dont 6.200 tonnes de phosgène.
États-Unis . . . . .	150 tonnes.
Italie . . . . .	850 —

En ce qui concerne le phosgène, une convention intervint entre la France et l'Angleterre en mars 1916, qui resta en vigueur pendant toute la durée de la guerre, d'après laquelle l'Angleterre céda à la France en échange de phosgène. L'usine de phosgène de Calais vit par suite la presque totalité de sa production attribuée à l'armée anglaise. Une convention identique intervint entre la France et les États-Unis dans les derniers jours d'octobre 1918.

#### CONCLUSION.

Tel est l'effort auquel l'ennemi a contraint la France par son agression du 22 avril 1915. Cet effort réalisé par la collaboration intime d'officiers, de chimistes, d'ingénieurs, de médecins, de physiologistes et d'industriels a-t-il donné satisfaction aux armées ?

La lettre suivante, adressée par le Maréchal Pétain au Ministre de l'Armement, à la date du 27 novembre 1918, permet de le croire :

« Vos services ont réalisé, sous la direction de M. le Général Ozil, un effort immense, d'autant plus remarquable que les ressources industrielles faisaient presque complètement défaut; cet effort a permis d'égaliser et parfois de dépasser un adversaire supérieurement outillé.

« Je vous exprime la reconnaissance de l'Armée, que je vous prie de transmettre à M. le Général Ozil et à ses Services. »

*Le Colonel Chef du bureau des Services chimiques :*

E. VINET.