

## Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

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

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

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

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

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

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

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

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

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

## NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA GRANDE MONOGRAPHIE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	[Conservatoire national des arts et métiers]
Titre	Conférences de guerre
Adresse	[s.l.] : [s.n.], [1914-1918]
Nombre de volumes	35
Cote	CNAM-BIB Ms 271, A 53578, A 53581, Br 1155, 12 Xa 277
Sujet(s)	Guerre mondiale (1914-1918)
Note	La note de présentation renvoie vers d'autres conférences numérisées par d'autres établissements.
Permalien	<a href="https://cnum.cnam.fr/redir?MS271">https://cnum.cnam.fr/redir?MS271</a>
LISTE DES VOLUMES	
VOLUME TÉLÉCHARGÉ	<a href="#">La guerre : la chimie du feu et des explosifs : conférence [30 novembre 1914]</a>
	<a href="#">L'organisation du crédit en Allemagne et en France [14 décembre 1914-4 mars 1915]</a>
	<a href="#">Le "75" : conférence [17 décembre 1914]</a>
	<a href="#">La guerre, la stérilisation des eaux, la chimie des aliments : conférences [18 janvier et 22 février 1915]</a>
	<a href="#">Conférence sur la question monétaire et les changes étrangers [15 novembre 1915]</a>
	<a href="#">Conférence sur l'idée de loi [18 novembre 1915]</a>
	<a href="#">Conférence sur les problèmes financiers de la guerre [22 novembre 1915]</a>
	<a href="#">Conférence sur les problèmes généraux d'hygiène industrielle [2 décembre 1915]</a>
	<a href="#">Conférence sur les succédanés de la monnaie [13 décembre 1915]</a>
	<a href="#">Conférence sur les modes de coopération des sociétés de prévoyance à la vie [16 décembre 1915]</a>
	<a href="#">Conférence sur la question du change en termes généraux [20 décembre 1915]</a>
	<a href="#">Conférence sur le paiement de l'indemnité de guerre de 1870-1873 [10 janvier 1916]</a>
	<a href="#">Exploitation industrielle et production de la nature vivante [13 janvier 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur les problèmes actuels du change [17 janvier 1916]</a>
	<a href="#">Le régime normal et le régime de guerre des inventions et brevets en France [27 janvier 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur l'organisation des caisses d'épargne [31 janvier 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur le dépôt des brevets d'invention [3 février 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur l'organisation sociale de l'Allemagne [7 février 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur le régime de guerre des inventions [10 février 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur les industries électro-chimiques [14 février 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur les caisses d'épargne après la loi de 1897 [17 février 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur l'application de l'électro-chimie [21 février 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur l'étude de l'électrolyse du chlorure de sodium ou du chlorure de potassium [28 février 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur l'alimentation de l'industrie en matières premières dans l'après-guerre [2 mars 1916]</a>

	<a href="#">Conférence sur la cherté de la vie et les munitions [6 mars 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur l'électrolyse de la soude par amalgame [9 mars 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur le fonctionnement de l'assistance [13 mars 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur les conditions de relèvement économique de la France et des alliés après la guerre [23 mars 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur les réformes de demain [27 mars 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur l'état actuel de la métallurgie du fer [3 avril 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur la situation économique de la métallurgie [6 avril 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur les causes de la supériorité de l'Allemagne [10 avril 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur les autres causes de la supériorité de l'Allemagne [13 avril 1916]</a>
	<a href="#">Les conditions de l'organisation et du développement commercial des industries chimiques [9 novembre 1916]</a>
	<a href="#">Conférence sur les conditions économiques générales sur lesquelles baser l'extension de la production des industries chimiques [18 janvier 1917]</a>

<b>NOTICE DU VOLUME TÉLÉCHARGÉ</b>	
Titre	Conférences de guerre
Volume	<a href="#">La guerre : la chimie du feu et des explosifs : conférence</a>
Adresse	Paris : Berger-Levrault, 1915
Collection	Pages d'histoire - 1914-1915
Collation	1 vol. (31 p.) : fig. ; 17 cm
Nombre de vues	34
Cote	CNAM-BIB A 53578
Sujet(s)	Explosifs militaires Guerre mondiale (1914-1918)
Thématique(s)	Histoire du Cnam
Typologie	Manuscrit
Langue	Français
Date de mise en ligne	22/05/2025
Date de génération du PDF	06/02/2026
Recherche plein texte	Disponible
Notice complète	<a href="https://www.sudoc.fr/121048314">https://www.sudoc.fr/121048314</a>
Permalien	<a href="https://cnum.cnam.fr/redir?A53578">https://cnum.cnam.fr/redir?A53578</a>

## Note de présentation des Conférences de guerre

Avec la Première Guerre mondiale, l'enseignement au Conservatoire est bouleversé. Les cours qui commencent habituellement en novembre ne peuvent pas être organisés. La mobilisation générale a soustrait 9/10 des auditeurs dont l'âge moyen est situé entre 19 et 45 ans, ainsi que de nombreux professeurs [1] et préparateurs indispensables aux cours expérimentaux. Le directeur du Conservatoire et ses professeurs non mobilisés souhaitent toutefois maintenir une activité. Les professeurs, parmi lesquels Léopold Mabilleau, Émile Fleurent, André Liesse, Jules Viole, André Job, Paul Beauregard, proposent des conférences « isolées ou en séries, faites très simplement sur des sujets inspirés des préoccupations de la guerre » en lien avec leurs enseignements. L'objectif est de « parler de questions relatives à la guerre et de former dans le public une opinion saine et sérieuse sur des questions soit techniques, soit économiques ». Les conférences sont programmées les lundis et jeudis du 30 novembre 1914 au 8 mars 1915, à 17h pour être accessibles au plus grand nombre. Afin d'assurer un auditoire suffisant, le cycle de conférences est annoncé dans plusieurs titres de presse dont : *Le Siècle*, *L'Action*, *Le Petit Journal*, *La France de demain*, *Le Figaro*.

Dès décembre 1914, la maison d'édition Berger-Levrault propose au Conservatoire d'entreprendre « à ses risques et périls » la publication des conférences données au Conservatoire. Les conférences feraient chacune l'objet d'un fascicule séparé d'environ 20 pages avec éventuellement la reproduction de clichés. Les séries de conférences sur un même sujet telles que celles d'André Liesse sur l'organisation du crédit en France et en Allemagne, ou d'Émile Fleurent sur les industries chimiques seraient réunies en un seul fascicule. Ces conférences sont publiées dans la collection « Pages d'histoire - 1914-1915 ».

Le grand amphithéâtre du Cnam est alors équipé pour se servir du cinématographe ; quatre conférences s'appuient sur des projections cinématographiques. Lors de sa conférence du 11 février 1915, Jules Viole présente toutes les opérations de plongée d'un sous-marin dans la rade de Toulon. Cette conférence sera relatée dans le journal britannique *The Illustrated London News* du 9 octobre 1915.

Les conférences rencontrent un grand succès, l'amphithéâtre de 800 places fait salle comble. Raoul Narsy, journal et critique littéraire au *Journal des débats*, définit le genre de la conférence en temps de guerre comme « un [des] services auxiliaires » de la guerre elle-même faisant l'éloge des différents cycles de conférences sur ce thème organisés à l'Institut catholique de Paris, l'École pratique des hautes études ou encore la Société des Amis de l'Université de Paris et accordant une « mention toute spéciale » aux conférences du Conservatoire [2].

En raison du succès des conférences et de la guerre qui perdure, de nouvelles séries de conférences sont organisées pour les années 1915-1916, 1916-1917 et 1917-1918 ; à partir de la 3e année, elles sont intitulées « cours-conférences ».

La collection des conférences est lacunaire, l'ensemble comprend : 4 conférences publiées de l'hiver 1914-1915, 29 conférences dactylographiées de l'hiver 1915-1916, 2 conférences dactylographiées de l'hiver 1916-1917. Certaines conférences conservées dans d'autres établissements sont disponibles en ligne : [Du rôle de la physique à la guerre](#) [10 décembre 1914] et [De l'avenir de nos industries physiques après la guerre](#) [11 février 1915], par Jules Viole ; [Le droit de la guerre, autrefois et aujourd'hui](#) [21 décembre 1914] et [Comment on paie en temps de guerre](#) [21 janvier 1915], par Émile Alglave ; [Les industries chimiques en France et en Allemagne](#) par Émile Fleurent ([II](#) et [III](#)) ; et [La vie économique en France pendant la guerre actuelle](#) [15 février 1915], par Paul Beauregard.

[1] Dix professeurs ou suppléants sont mobilisés : Sauvage, Guillet, Bricard, Blaringhem, Heim, Mesnager, Boudouard, Métin, Dunoyer, Magne ; ou mobilisables : Job, Dantzer.

[2] [Journal des débats littéraires et politiques](#), 7 janvier 1915.

Florence Desnoyers-Robison

Bibliothèque centrale du Cnam

Sources :

Archives du Cnam, 2 CC/23.

Archives du Cnam, Procès-verbaux du Conseil d'administration du Cnam, 1914-1918.

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

---

# LA GUERRE

---

## LA CHIMIE DU FEU ET DES EXPLOSIFS

CONFÉRENCE FAITE PAR M. A. JOB

---

AVEC 2 FIGURES



BERGER-LEVRault, LIBRAIRES-ÉDITEURS

PARIS

5-7, RUE DES BEAUX-ARTS

NANCY

18, RUE DES GLACIS

1915

Prix : 40 centimes.

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS, 5-7, rue des Beaux-Arts — rue des Glacis, 18, NANCY

CONFÉRENCES DE GUERRE  
DES PROFESSEURS  
DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

BEAUREGARD (Paul). — *La Vie économique en France pendant la guerre actuelle.* 1915. . . . . 40 c.

FLEURENT. — *Un Effort à faire. Les Industries chimiques en France et en Allemagne. Aperçu général sur les causes de leur développement comparatif.* . . . . . 75 c.

JOB (A.). — *La Chimie du feu et des explosifs.* . . . . . 40 c.

LIESSE (André). — *L'Organisation du Crédit en Allemagne et en France.* 1915 . . . . . 90 c

MAGNE (Lucien). — *La Guerre et les Monuments. Cathédrale de Reims, Ypres, Louvain, Arras.* Avec 32 illustrations. 1915 . . . . . 90 c.

SCHLÖSING fils (Th.). — *Notions sur le canon de 75.* Avec 9 figures. 1915. . . . . 40 c.

VIOLLE (J.). — *Du Rôle de la physique à la guerre. De l'avenir de nos industries physiques après la guerre.* Avec 26 figures. 1915 . . . . . 75 c.

---

L'Aviation militaire, par Clément ADER. 8<sup>e</sup> édition, revue et corrigée. 1914. Un volume in-8, avec 55 figures et 2 planches hors texte, broché. 4 fr.

Avionnerie militaire. *Pointage aérien. Instruments de mesure pour avions torpilleurs. Le catachros. Le vélosolmètre. L'altimètre. Tableaux du guide de visée,* par C. ADER. 1913. Un volume in-8 de 112 pages, avec 31 figures, broché. . . . . 3 fr.

Les Moteurs d'Aviation, par le capitaine C. MARTINOT-LAGARDE, ancien élève de l'École polytechnique. 2<sup>e</sup> édition, revue et augmentée. 1915. Un volume in-8, avec 127 figures et 2 planches hors texte, broché . . . . . 5 fr.

Le Moteur à Explosion, par le capitaine C. MARTINOT-LAGARDE, ancien élève de l'École polytechnique. 2<sup>e</sup> édition, revue et augmentée. 1914. Un volume in-8, avec 173 figures, broché . . . . . 6 fr.

Les Applications de la Télégraphie sans fil. *Traité pratique pour la réception des signaux horaires et des radiotélégrammes météorologiques,* par E. ROTHE, professeur à la Faculté des Sciences de Nancy, président de la Commission météorologique de Meurthe-et-Moselle. 1913. Un volume in-8 étroit, avec 63 figures, relié en percaline souple . . . . . 4 fr.

De la Portée des Projecteurs de lumière électrique, par Jean REY, ingénieur civil des Mines. 1915. Un volume grand in-8, avec 27 figures et 6 planches in-folio . . . . . 7 fr. 50

Acquisition 2023, 10€

A53578

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS

# LA GUERRE

---

## LA CHIMIE DU FEU ET DES EXPLOSIFS

CONFÉRENCE FAITE PAR M. A. JOB



BERGER-LEVRAULT, LIBRAIRES-ÉDITEURS

PARIS

5-7, RUE DES BEAUX-ARTS

NANCY

18, RUE DES GLACIS

1915

Bib.  
CNAM

# LA CHIMIE DU FEU

## ET DES EXPLOSIFS<sup>(1)</sup>

---

A l'heure où toute notre activité scientifique se tourne vers la guerre, les applications de la chimie prennent un renouveau d'intérêt. C'est la chimie, en effet, qui nous fournit les explosifs et qui nous révèle les puissances du feu.

Qu'est-ce que le feu? Pour avoir du feu il suffit de déchaîner une réaction très vive qui élève assez la température pour porter à l'incandescence les corps réagissants. Le type le plus simple d'une telle réaction est la combustion du charbon dans l'air. On peut élever davantage la température en élevant la vitesse de réaction. Pour cela on fait brûler le charbon dans l'oxygène pur. La vitesse peut s'accroître encore si l'on mélange le combustible point par point

---

(1) Conférence prononcée, le 30 novembre 1914, au Conservatoire national des Arts et Métiers.

avec un corps générateur d'oxygène. Nous réduirons le charbon en poussière et nous le mélangerez par exemple avec du chlorate de potassium pulvérisé. C'est une composition analogue qui garnit l'extrémité de certaines allumettes. Enfin il y a mieux encore : certaines substances portent, juxtaposés dans leur molécule même, le combustible et le comburant. Tels sont les composés organiques nitrés. Ainsi, dans la nitrocélulose les groupes oxydants  $\text{AzO}_2$  voisinent avec le carbone et l'hydrogène. Et la combustion du coton-poudre est pour ainsi dire instantanée (1).

Presque toujours le feu s'accompagne d'une flamme. Elle est due aux gaz brûlants émanés de la réaction. Ces gaz peuvent à leur tour communiquer le feu. Mais on peut aussi les employer à des effets mécaniques. Si la combustion se fait en vase clos, la pression s'élève et va jusqu'à briser les enveloppes. Il est évident que le choix des matériaux destinés au feu va changer selon que nous chercherons l'effet température ou l'effet pression. Si nous cherchons uniquement l'effet température nous éviterons la production des gaz qui dissipent la chaleur loin du

(1) On peut faire du feu autrement qu'avec l'oxygène ou les corps oxygénés. Ainsi l'iодure d'azote se décompose brusquement avec flamme en iodé et azote. L'azoture de plomb se décompose de même en plomb et azote. Mais, dans la pratique, la pyrotechnie est presque tout entière fondée sur la combustion.

foyer. Nous aurons recours à des réactions dont les produits sont fixes. C'est le cas de l'aluminothermie. Le mélange aluminothermique (aluminium et oxyde de fer) est le type parfait de l'appareil incendiaire. Aussi les Allemands, qui se targuent de faire la guerre savante, n'ont pas manqué de l'employer contre nous.

Au contraire, si nous voulons développer l'effet pression, nous choisirons une réaction qui, dans le plus petit volume initial, donnera le plus grand volume final de produits gazeux. Et, cette fois, si nous laissons les gaz se détendre brusquement en exerçant des effets mécaniques extérieurs, nous aurons produit une explosion. Analysons de plus près le phénomène, et voyons comment on peut faire l'étude méthodique d'une réaction explosive pour en prévoir les effets (¹).

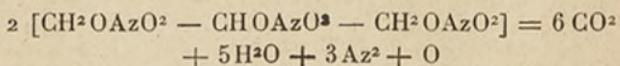
Le premier souci du chimiste est de déterminer les produits de la réaction et de mesurer leur volume. On y parvient au moyen d'une technique spéciale. Une bombe à réaction, telle que la bombe calorimétrique, et un gazomètre approprié ont permis à MM. Sarrau et Vieille de faire toute une série d'analyses de ce genre. Soit, par

---

(¹) On lira avec fruit le traité de Berthelot sur la force des matières explosives, et aussi, dans le *Mémorial des Poudres et Salpêtres*, tome II, une note de MM. MALLARD et LE CHATELIER qui établissent d'une façon très claire le calcul des caractéristiques. Enfin on lira dans le même Mémorial, tome VII, *La Théorie des explosifs*, par SARRAU.

## 8 LA CHIMIE DU FEU ET DES EXPLOSIFS

exemple, la nitroglycérine. Sa molécule contenant un excès d'oxygène, la formule de la réaction n'est pas douteuse. Tout l'hydrogène se transforme en eau, tout le carbone en acide carbonique :



Cette formule fait prévoir, pour les gaz ramenés à  $0^\circ$ , par kilo de nitroglycérine, 467 litres. MM. Sarrau et Vieille en ont trouvé 465. En supposant l'eau à l'état de vapeur à  $t^\circ$  on trouve  $713^1 \left( 1 + \frac{t}{273} \right)$ . C'est évidemment ce volume qui entre en jeu à la température de l'explosion.

Est-il possible d'avoir une idée de cette température ? Elle est difficilement accessible à l'expérience, et, en tout cas, elle ne peut être définie que si l'on produit l'explosion dans un système calorifiquement isolé dont on fixe la nature et la masse. Mais, par une première approximation, on peut supposer l'explosion assez rapide pour qu'il n'y ait pas du tout de chaleur dissipée, pour que la chaleur soit employée tout entière à échauffer les produits de la réaction. Dès lors, si l'on connaît la capacité calorifique de ces produits, sa variation avec la température, et la chaleur totale libérée, on pourra estimer la température maximum. — La

première donnée qu'il faut atteindre, c'est donc la mesure thermique de l'énergie mise en jeu dans la réaction. On y réussit de deux façons : soit directement, en provoquant l'explosion dans la bombe calorimétrique ; MM. Sarrau et Vieille ont ainsi trouvé 1.600 calories par kilo de nitroglycérine ; soit indirectement, par le calcul, en faisant la différence des chaleurs de formation (à partir des éléments) : 1<sup>o</sup> du composé initial ; 2<sup>o</sup> du système final qui en résulte ; on trouve ainsi 1.590 calories, ce qui est une bonne concordance. La température théorique maximum qu'on peut déduire de ces données est 3.145°. — A part ce résultat, la mesure thermique présente un intérêt de premier ordre, et nous ne saurions trop y insister : elle nous avertit du travail maximum qu'on pourrait attendre de l'explosion. Ainsi l'énergie contenue dans un kilo de nitroglycérine, comptée en kilogrammètres, est  $1.600 \times 425$ , soit 680.000 ou 680 tonnes-mètres. On l'appelle *potentiel* de l'explosif.

Et maintenant, supposons un vase clos où les gaz de l'explosion soient enfermés à la température de 3.145° ; on pourra calculer leur pression. Appelons  $v_0$  le volume sous la pression normale et à 0° des gaz dégagés par kilo d'explosif ( $v_0 = 713$  pour la nitroglycérine). Soit  $\Delta$  la densité de chargement, c'est-à-dire le poids d'explosif enfermé dans la capacité d'un litre.

Ce poids dégage un volume de gaz  $v_0 \times \Delta$  et la pression  $p$  développée dans cette capacité d'un litre à  $t^\circ$  serait, d'après les lois de Mariotte et de Gay-Lussac :

$$p = \frac{p_0 (v_0 \Delta)}{1} \left( 1 + \frac{t}{273} \right),$$

ou, en kilos par centimètre carré :

$$p = 1,033 \left( 1 + \frac{3,145}{273} \right) \left( \frac{v_0 \Delta}{1} \right).$$

Mais ici, étant donnée la valeur considérable de la pression, la loi de Mariotte doit subir une correction. Ce n'est plus le volume d'un litre qui intervient, mais bien un litre diminué du volume réel des molécules matérielles qui y sont contenues (covolume.) L'expérience montre qu'on peut l'évaluer à  $\frac{1}{1,000}$  de  $\Delta v^o$ , et que la pression réelle sera :

$$p_r = 1,033 \left( 1 + \frac{3,145}{273} \right) \frac{\Delta v_o}{1 - \frac{\Delta v_o}{1,000}}$$

C'est-à-dire :

$$p_r = 1,033 \left( 1 + \frac{3,145}{273} \right) 713 \times \frac{\Delta}{1 - 0,713 \Delta}$$

$$\text{On voit que : } p_r = \frac{p}{\Delta} \times \frac{\Delta}{1 - 0,713 \Delta}$$

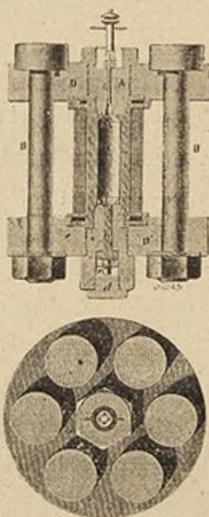
Le facteur  $\frac{P}{\Delta}$ , c'est-à-dire la pression théorique rapportée au kilo enfermé dans 1 litre ( $\Delta = 1$ ) s'appelle la *force* de l'explosif. Dans le cas de la nitroglycérine, la force est de 9.220 kilos par centimètre carré. Et les pressions réelles observées pour des valeurs variées de  $\Delta$  ont vérifié la formule de façon très satisfaisante (1). On voit d'ailleurs que pour  $\Delta = \frac{1}{1,713}$ , soit pour 0<sup>kg</sup> 58 de nitroglycérine au litre, la pression réelle sera justement égale à la force de l'explosif, soit 9.220 kilos.

Comment est-il possible de mesurer des pressions pareilles? Pour cela les techniciens ont réalisé des appareils extrêmement ingénieux. Le manomètre à écrasement ou manomètre à crusher imaginé par le capitaine anglais Noble est une bombe très résistante fermée par un piston mobile d'une parfaite étanchéité. La tête de ce piston s'appuie sur un petit cylindre en cuivre (hauteur 13 millimètres, diamètre 8 milli-

---

(1) Cette formule donne lieu à une remarque intéressante. Il suffit que la densité de chargement  $\Delta$  devienne égale à l'inverse du covolume  $\frac{1}{0,713}$  pour que la pression prenne une valeur infinie. Il suffit donc d'enfermer 1<sup>kg</sup> 4 de nitroglycérine, c'est-à-dire 875 centimètres cubes dans une capacité d'un litre pour que la pression croisse au delà de toutes limites, brisant toutes les enveloppes matérielles possibles.

mètres) bloqué lui-même contre une enclume solidaire de la bombe. Qu'on imagine des essais d'écrasement faits sur des cylindres semblables



Manomètre à crusher.

avec des poids connus<sup>(1)</sup>, et l'on saura, pour un écrasement donné, retrouver la pression correspondante.

\*  
\* \*

Revenons sur ce qui précède. Le calorimètre nous a fourni la mesure thermique de l'énergie

---

(1) Une balance spéciale dite balance de Jæssel sert à cet usage.

libérée dans la réaction explosive, première donnée très importante, puisqu'elle nous donne une idée de la somme de travail qu'on peut attendre de l'explosion. La connaissance de l'énergie et des produits de la réaction nous a permis ensuite de calculer la température et la pression, c'est-à-dire d'estimer quelle sera la qualité de ce travail. Et la mesure directe de la pression est venue confirmer le principe du calcul. Les divers explosifs se trouvent ainsi représentés par des nombres caractéristiques : potentiel, volume des gaz, température, force, qui nous permettront de faire un choix entre eux pour les applications.

	Poudre noire (chasse)	Coton-poudre	Nitrate d'ammoniaque	Nitroglycérine	Acide picrique
Potentiel . . . . .	272 t.-m.	442 t.-m.	163 t.-m.	680 t.-m.	371 t.-m.
Volume des gaz . . . .	279 l.	859 l.	976 l.	713 l.	828 l.
Température . . . .	2.660°	2.670°	1.051°	3.145°	2.832°
Force . . . . .	4.100kg.	9.544kg.	4.894kg.	9.220kg.	9.780kg.

Ainsi nous voyons que la température d'explosion du nitrate d'ammoniaque est la plus basse, d'où son usage dans les mines grisouteuses comme explosifs de sûreté. Nous constatons que le *potentiel* de l'acide picrique est inférieur à celui de la nitroglycérine, mais que sa *force* est plus grande. Il déblaiera une masse moins considérable de terres ou de roches, mais il produira un ébranlement plus violent.

Mais il est temps de faire appel à une autre donnée qui nous manque et qui est décisive pour la qualité du travail de l'explosif : c'est la brusquerie de l'explosion. Nous avons supposé dans nos calculs qu'elle était assez soudaine pour que la chaleur dégagée n'eût pas le temps de se dissiper et fût employée tout entière à échauffer les produits de l'explosion. Mais il y a des degrés dans l'instantané. Ainsi prenons un cylindre de poudre B long de 10 centimètres et mettons le feu à son extrémité. La combustion pourra durer dix secondes à l'air libre, et deux secondes en vase clos (<sup>1</sup>). Au contraire, prenons un cylindre de coton-poudre comprimé et allumons-le par la déflagration d'une amorce convenable de fulminate. Il brûle soudain avec une détonation violente et disparaît dans un temps cent mille fois plus court. Dans les deux cas l'énergie libérée est à peu près la même, mais combien la qualité peut en être différente ! Supposons que la charge soit enfermée dans l'âme d'une arme à feu où le projectile joue le rôle d'obturateur mobile comme le piston dans un corps de pompe. Avec la poudre B le projectile sera mis en route bien avant la combustion complète de la charge, et la pression n'augmentera

---

(1) Nous verrons que la vitesse de combustion augmente du fait de la pression.

pas au delà d'un maximum compatible avec la résistance de l'arme. Mais avec le coton-poudre comprimé la réaction est si soudaine qu'elle sera terminée avant que le projectile ait pu se mettre en route et qu'elle se fera comme en vase clos, développant une pression énorme qui fait voler en éclats les parois les plus résistantes. Nous saissons ici la différence entre un explosif propulseur et un explosif brisant. Essayons de montrer ce qui distingue les deux mécanismes de combustion. Dans le premier cas la combustion se propage de proche en proche par conduction calorifique. Une première région de la charge étant portée à la température de mise à feu brûle et élève la température de la région immédiatement voisine qui prend feu à son tour. Et l'on voit que la vitesse est réglée par la transmission de la chaleur. Au contraire, le propre de l'explosif brisant c'est que la transmission s'y fait par choc. La détonation du fulminate communique sa force vive à une première couche de coton-poudre. Celle-ci, comme si elle était soudain portée à une température très élevée, brûle alors avec une vitesse décuplée, et, dégageant brusquement ses gaz, donne un choc explosif à une couche voisine. Et ainsi de suite en continuant. Et ce choc peut aller s'amplifiant d'une couche à la suivante, si bien que la vitesse de transmission de cette *onde explosive* est incom-

parablement plus grande que celle d'un choc mécanique ordinaire. Nous devons à Berthelot l'analyse de ce phénomène. Il a fait d'abord avec M. Vieille des mesures sur la vitesse de propagation de l'onde explosive dans les mélanges gazeux détonants. Ils ont trouvé, par exemple pour le mélange hydrogène-oxygène, une vitesse de 2.810 mètres par seconde. Mais les véritables explosifs brisants sont les explosifs solides ou liquides, à cause de leur grande densité de chargement. Or, pour le coton-poudre granulé, on a trouvé une vitesse de propagation de 4.770 mètres à la seconde, et pour l'acide picrique pulvérulent, de 6.500 à 7.000 mètres (<sup>1</sup>).

On conçoit que l'étude des explosifs brisants va constituer un domaine à part. La première difficulté qu'on y rencontre est de reconnaître les conditions de sécurité de ces explosifs. Il arrive en effet qu'ils sont d'une extrême sensibilité et qu'ils détonent sous la moindre influence. Ainsi l'iode d'azote  $\text{Az I}^3$  détone par le frottement d'une barbe de plume. On ne peut donc pas songer à l'utiliser. Le fulminate de mercure  $(\text{CAzO})_2 \text{Hg}$  détone au simple choc d'un percu-

(1) Ces vitesses énormes sont mesurées avec une grande précision par une méthode très ingénieuse due à M. Dautriche. C'est une méthode d'interférence qui permet de mesurer la vitesse sur des cordeaux détonants très courts (Voir *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, tome CXLIV, p. 1030. 1907).

teur. Aussi ne peut-il être manipulé en masses. On le conserve à l'état humide et à basse température, et on ne le sèche que réparti en petites fractions isolées. Comme il est très brisant, une fraction minime donne un choc explosif suffisant pour déchaîner d'autres réactions explosives. C'est l'amorce usitée en France. En Allemagne on lui préfère l'azoture de plomb, moins sujet à s'altérer sous l'influence de la chaleur humide. — La nitroglycérine est encore extrêmement sensible au choc, à ce point que le transport a dû en être interdit. On sait que Nobel a su la rendre inoffensive en la mélangeant à un support inerte tel que la silice pulvérulente. On a alors la dynamite. La transmission explosive se fait plus lente, la sensibilité diminue, l'amorçage par détonateur devient nécessaire. Mais la brisance a diminué en même temps.

Un type accompli d'explosif brisant, c'est l'acide picrique. Mais on eut tout d'abord à compter avec le caractère extrêmement capricieux de son amorçage. Parfois il paraissait stable, résistant même à des chocs violents; parfois, au contraire, il détonait presque spontanément sans raison apparente. En examinant les choses de plus près on reconnut les causes de cette irrégulière sensibilité. En premier lieu, la présence des picrates. L'acide picrique, qui est du trinitrophénol, attaque la plupart des métaux

et donne des sels beaucoup plus instables que l'acide lui-même. Le picrate de fer, et surtout le picrate de plomb, sont d'une extrême sensibilité. Aussi faut-il absolument éviter le contact de l'acide picrique avec le fer ou avec le plomb. Les tubes métalliques flexibles emplis d'acide picrique qui servent de cordeaux détonants (<sup>1</sup>) sont en étain. Les obus explosifs sont étamés soigneusement avant de recevoir leur charge. Mais ce n'est pas tout; une autre cause d'instabilité est la structure cristalline de l'explosif. A l'état pulvérulent il est sujet à des frottements de cristal sur cristal qui déclanchent la réaction explosive. Toute occasion de frottement disparaîtra si toute la masse de l'explosif peut être agglomérée en un solide continu. On y réussit précisément par fusion et refroidissement. C'est ainsi qu'on obtient par fusion à 122° la masse de *mélinite* (jaune comme du miel); et c'est le grand mérite de M. Turpin d'avoir préconisé cette pratique et démontré toutes les qualités du nouvel explosif. On peut augmenter encore les conditions de sécurité de son emploi. Pour cela on applique les propriétés des mélanges eutectiques. Le mélange de la mélinité (40 parties)

---

(1) Il ne faut pas confondre le cordeau détonant avec le cordeau d'allumage (Bickford). Le cordeau détonant sert de trait d'union entre diverses charges d'explosifs dont il assure l'amorçage simultané.

avec la crésylite ou trinitrométacrésol qui fond à 106° (60 parties) demeure liquide jusqu'à 85°. De plus, s'il a été fondu et solidifié une première fois, il redevient plastique dès 70°, ce qui permet de le bourrer par compression en masse continue dans les obus sans la moindre lacune. Tout danger de friction et d'explosion anormale est ainsi écarté, et loin de diminuer la brisance, comme c'est le cas pour la dynamite, on l'augmente puisqu'on accroît la densité de chargement. L'acide picrique qui a été fondu exige pour détoner des chocs extrêmement violents. En réalité il ne détone plus que par une amorce au fulminate. Encore établit-on entre l'amorce et la mélinite un relais d'acide picrique pulvérulent pour exciter plus sûrement l'explosion de la masse. — Un autre explosif aussi brisant et plus maniable encore est le toluène trinitré (tolite, trotyl). Il fond à 81° et n'attaque pas les métaux. Les Allemands lui ont donné la préférence, mais il ne semble pas qu'ils aient su calculer leurs charges aussi judicieusement que nos artilleurs (¹).

L'étude théorique des explosifs brisants n'est encore qu'ébauchée. Il nous suffira d'avoir montré ici quelles étaient les difficultés pratiques

---

(¹) Les Anglais emploient la lyddite qui est analogue à notre mélinite.

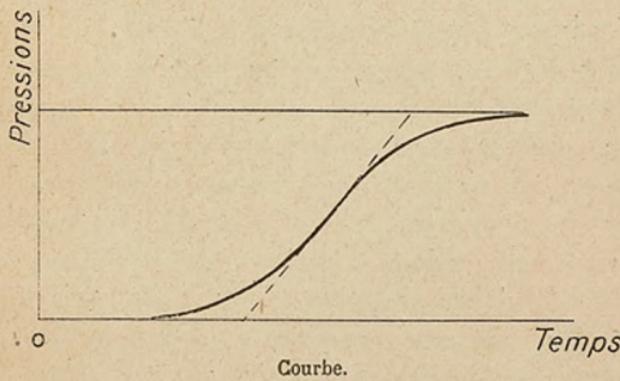
de leur usage et comment la science des chercheurs a pu les vaincre. Mais le succès de la méthode scientifique s'est affirmé surtout dans la mise au point des explosifs propulseurs. Et c'est là qu'il nous faut voir maintenant nos ingénieurs à l'œuvre.

\* \* \*

Reportons-nous à l'époque où l'on employait encore la poudre noire, c'est-à-dire vers 1880. A ce moment l'artillerie tendait à augmenter de plus en plus la force vive de ses projectiles. Pour cela on est conduit à augmenter la charge de poudre. Mais si on veut éviter que la pression devienne dangereuse pour l'arme, il faudra de toute évidence ralentir la vitesse de combustion. Alors le dégagement des gaz étant réglé sur la progression de l'obus dans l'âme de la pièce, la pression se trouvera par là même modérée. La mesure des vitesses de combustion prend donc ici un intérêt de premier ordre, et l'on conçoit toute l'importance des remarquables travaux que M. Vieille exécuta en 1884 et 1885 sur la combustion des poudres noires.

Comment mesurait-il les vitesses de combustion ? Par l'inscription graphique des pressions. La combustion se fait dans un manomètre à crusher dont le piston, muni d'un style, inscrit

ses déplacements sur un cylindre enfumé. Bien qu'ici les gaz ne subissent pas la même détente que dans une arme à feu, on peut néanmoins régler l'expérience de façon que la pression maximum y soit à peu près la même, et les conclusions qu'on en tire donnent des indications précieuses sur les conditions du tir réel (<sup>1</sup>). L'examen du diagramme obtenu fournit, en effet, toute une série de données instructives, savoir : le maximum de pression, la durée totale de la combustion, la vitesse d'émission des gaz, et, par suite, de la combustion à chaque instant (<sup>2</sup>), et enfin la loi qui relie cette vitesse à la pression.



(1) Le dispositif du crusher peut d'ailleurs s'adapter à un canon et fonctionner pendant un tir réel.

(2) Elle est donnée par le coefficient angulaire de la tangente au diagramme en chaque point.

On trouve que la vitesse à chaque instant est proportionnelle à une puissance constante de la pression. Le maximum de vitesse (point d'inflexion de la courbe), moins élevé pour les poudres lentes, est aussi plus lentement atteint. La durée totale de la combustion varie en sens inverse du maximum de vitesse. Enfin, et surtout, la durée de combustion dépend à un très haut degré de la grosseur des grains de poudre noire et de la façon dont on les agglomère entre eux. Plus le grain élémentaire de la poudre est fin, plus tôt la combustion est terminée. Supposons ces grains faiblement agglomérés entre eux par une compression modérée. L'expérience montre que la durée de combustion est indépendante de l'épaisseur du comprimé de poudre. C'est le signe que les gaz incandescents se répandent instantanément dans tous les interstices et allument tous les grains ensemble. Mais si, par une compression croissante, on augmente la compacité des charges, la durée de la combustion augmente, devient fonction de l'épaisseur, et bientôt lui est proportionnelle. La combustion de la poudre est alors parfaitement régulière et se fait par couches parallèles. — Dès qu'on est en possession d'une poudre de ce genre, on voit qu'il est possible de régler la durée de sa combustion, puisqu'il suffit de régler l'épaisseur des comprimés. Malheureusement, les comprimés de

poudre noire, dès que leurs dimensions augmentent, deviennent fragiles (surtout à la déflagration), et leur régularité est tout à fait illusoire. Pour avoir une poudre lente bien régulière, il faudrait recourir non pas à des grains agglomérés, mais à un solide continu.

Arrivé à ce point de son étude, M. Vieille eut une idée ingénieuse et hardie, ce fut d'employer le coton-poudre. Préparer une poudre lente avec du fulmicoton, voilà qui pouvait d'abord sembler un paradoxe. Le fulmicoton allumé par une flamme ou par une amorce assez faible pour ne pas provoquer l'onde explosive, brûle, il est vrai, selon le mode des poudres. Mais sa combustion est extrêmement rapide.

On avait pu déjà, dans certains essais, l'employer en charges réduites dans des armes de petit calibre, mais non sans déterminer parfois l'éclatement de ces armes. Et pourtant il est un produit, formé aussi de nitrocellulose, qui peut brûler lentement : le celluloïd. C'est que la nitrocellulose y est amenée à l'état de solide continu. Qu'on amène le fulmicoton à cet état, et le problème sera résolu. Ici se rencontre une difficulté. La mise en plaques de la nitrocellulose pour celluloïd se fait par l'intermédiaire d'un dissolvant. Or, il y a diverses variétés de nitrocelluloses selon leur degré de nitration. Les plus nitrées sont les plus combustibles. Le coton-poudre est

la plus nitrée, mais c'est aussi la moins soluble. On compte dans sa formule onze groupes nitrés, c'est-à-dire qu'en la rapportant à la cellulose  $C^{24}H^{40}O^{20}$ , on l'écrira  $C^{24}H^{20}O^9(OAzO^2)^{11}$ . Le coton pour collodion ou pour celluloïd est bien plus soluble, mais il ne compte que huit groupes nitrés,  $C^{24}H^{32}O^{12}(OAzO^2)^8$ . Il n'est plus assez combustible pour faire une poudre. — Heureusement, grâce à un artifice, tout va se concilier. La nitrocellulose à 9 AzO<sup>2</sup> est encore soluble dans l'éther à 56° B. (1 partie d'alcool à 95° avec 1,9 partie d'éther à 65°). Préparons-en un collodion nouveau qui nous servira de véhicule, et dans lequel nous allons triturer le coton-poudre à 11 AzO<sup>2</sup>. Celui-ci s'imprègne du dissolvant, se gonfle, se gélatinise, devient colloïdal, et nous obtenons bientôt une pâte homogène que l'évaporation de l'alcool-éther va laisser à l'état de solide tenace et continu. Cette pâte peut être étirée, moulée à volonté. La matière compacte qui va constituer la « poudre » peut affecter telle épaisseur, telle forme qu'on désire. La configuration de la poudre qui est un des facteurs de sa vitesse est donc tout à fait sous notre dépendance. Mais de plus nous disposons d'un autre facteur de réglage. Le coton à 9 AzO<sup>2</sup> (on l'appelle le CP<sub>2</sub>) moins vif et moins puissant que le coton à 11 (on l'appelle le CP<sub>1</sub>) est pour lui un adjuvant modérateur. En variant les doses,

nous ferons varier à volonté la lenteur de la poudre. Ainsi pour les poudres vives destinées aux fusils, l'expérience montre que la dose de CP<sub>2</sub> dans ce mélange doit être voisine de 25 %. Dans les poudres les plus lentes, destinées aux gros canons de marine, il s'approche de 50 %.

Ainsi le fulmicoton est discipliné. Sa force explosive, bien supérieure à celle de la poudre noire, est utilisée de telle sorte qu'avec une charge moindre, méthodiquement soumise à une combustion progressive par couches parallèles, elle donne au projectile une vitesse beaucoup plus grande (<sup>1</sup>). En même temps la poudre présente un nouvel avantage, c'est qu'elle brûle sans fumée, et c'est sous ce nom de « poudre sans fumée » qu'elle va se faire connaître.

C'est ainsi que furent découvertes les poudres colloïdales. Elles furent mises en service dans l'armée française dès 1886. On notera ce millésime comme une date importante dans notre histoire militaire, et l'on citera comme un travail classique dans la science des explosifs le mémoire de M. Vieille sur le mode de combustion des matières explosives (*Mémorial des Poudres et*

(1) On a perfectionné encore la progressivité en lissant la poudre, c'est-à-dire en la durcissant par l'alcool à sa surface pour ralentir encore la combustion à son début. Un bon agent de durcissement est la centralite (diméthyldiphénylurée), dissolvant qui paraît agir en resserrant le grain du colloïde.



*Salpêtres*, tome VI, année 1893). On y trouve les données caractéristiques sur la combustion des poudres colloïdales. Citons par exemple un échantillon qui, à la densité de chargement 0,2 (200 grammes par litre) et sous une épaisseur de 1 millimètre, brûle en 9,6 millièmes de seconde. Le maximum de la pression est 2.305 kilos par centimètre carré. L'accroissement maximum de pression par millième de seconde est de 535 kilos (on dit que le coefficient de vivacité est de 535 tonnes-seconde). La vitesse de combustion sous 366 kilos tse de 3<sup>cm</sup> 98 par seconde; sous 511 kilos, 4<sup>cm</sup> 56; sous 860 kilos, 6<sup>cm</sup> 55; sous 1.410 kilos, 9<sup>cm</sup> 74, etc. Elle varie comme la puissance  $\frac{2}{3}$  de la pression.

Le principe de nos poudres colloïdales (poudres B) était à peine établi qu'on essaya de les imiter et de les perfectionner. Un progrès important consisterait à trouver un gélatinisant qui ne fût pas volatil. En effet, s'il est volatil, on le perd au séchage de la poudre, à moins qu'on ne fasse les frais d'une récupération. Cette perte du dissolvant est donc onéreuse, mais le plus fâcheux c'est que son élimination est incomplète. La poudre en retient toujours un résidu, et s'il n'est pas constant d'un lot de poudre à l'autre, la régularité du tir en est influencée. — Si l'on cherche un dissolvant

qui demeure tout entier incorporé dans la poudre, il est évident qu'on a intérêt à choisir un explosif. Justement la nitroglycérine est capable de gélatiniser le coton-poudre, et une fois incorporée à la pâte solide, elle y devient insensible aux chocs. D'où la *balistite* inventée par Nobel : coton-collodion ( $CP_2$ ) 49,5, nitroglycérine 49,5, diphénylamine (comme stabilisant) 1 partie. Le choix de la nitroglycérine paraît d'abord très heureux, car le coton-poudre pèche par défaut d'oxygène, et la nitroglycérine en contient un excès, d'où combustion parfaite de l'ensemble et accroissement notable de la puissance. Malheureusement on élève aussi beaucoup la température de l'explosion <sup>(1)</sup> et les armes sont rapidement usées. Pour éviter l'érosion des armes on est amené à abaisser le taux de nitroglycérine. Mais alors le dissolvant volatil redevient nécessaire et le bénéfice de l'opération est en partie perdu. La fabrication de la *cordite* anglaise n'échappe pas à ce reproche. Une autre poudre plus récente est celle d'*Avigliana* (poudrerie italienne). Le dissolvant y est remplacé par du dinitrotoluène : nitroglycérine 25, dinitrotoluène 25,  $CP_2$  50. Il semble qu'elle réalise un progrès, mais on n'est pas encore bien fixé sur

---

(1) La température théorique d'explosion de la nitroglycérine est d'ailleurs une des plus élevées.

ses propriétés. Nos artilleurs se sont refusés jusqu'ici à employer ces poudres, aussi leurs canons peuvent-ils supporter sans déréglage et sans usure un service très prolongé.

Dans la *balistite* de Nobel, ce qui est plus important peut-être que la nitroglycérine, c'est l'introduction de la diphenylamine comme stabilisant. Nos poudreries l'ajoutent aussi depuis quelques années à la poudre B (à la dose de 1,5% environ) et c'est un grand perfectionnement. Qu'est-ce à dire? C'est qu'il ne suffit pas de discipliner le coton-poudre dans les armes, il faut le discipliner aussi au cours de sa fabrication et de sa conservation. La nitrocellulose est un éther nitrique; comme tous les éthers, elle est sujette à une lente hydrolyse<sup>(1)</sup> qui libère de l'acide nitrique, et, par réduction de l'acide nitrique, de l'acide nitreux. Bien entendu, cette hydrolyse est favorisée par l'humidité et accélérée par une élévation de température. Mais l'acidité elle-même, à mesure qu'elle se développe, en précipite le cours, de sorte qu'une nitrocellulose altérée va s'altérant de plus en plus avec une vitesse croissante. Résultat déplorable à tous les égards. D'abord la poudre n'a plus les mêmes effets balistiques et le réglage du tir est incertain. Ensuite, si la

---

(1) Comparable au rancissement du beurre.

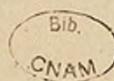
matière est conservée en grande masse, la chaleur dégagée par la décomposition même ne tarde pas à éléver la température. Et le phénomène peut aller s'amplifiant jusqu'à la combustion spontanée de la poudre. Avec la diphénylamine, il semble bien que ces dangers disparaissent. Dès que des traces d'acide nitrique tendent à se former, la diphénylamine les capte aussitôt. Toute catalyse fâcheuse est annihilée ainsi, et tant que la diphénylamine n'est pas nitrée à fond la sécurité reste entière. Cette nitration se révèle d'ailleurs au chimiste par des réactions colorées qui permettent de suivre l'évolution de la poudre.

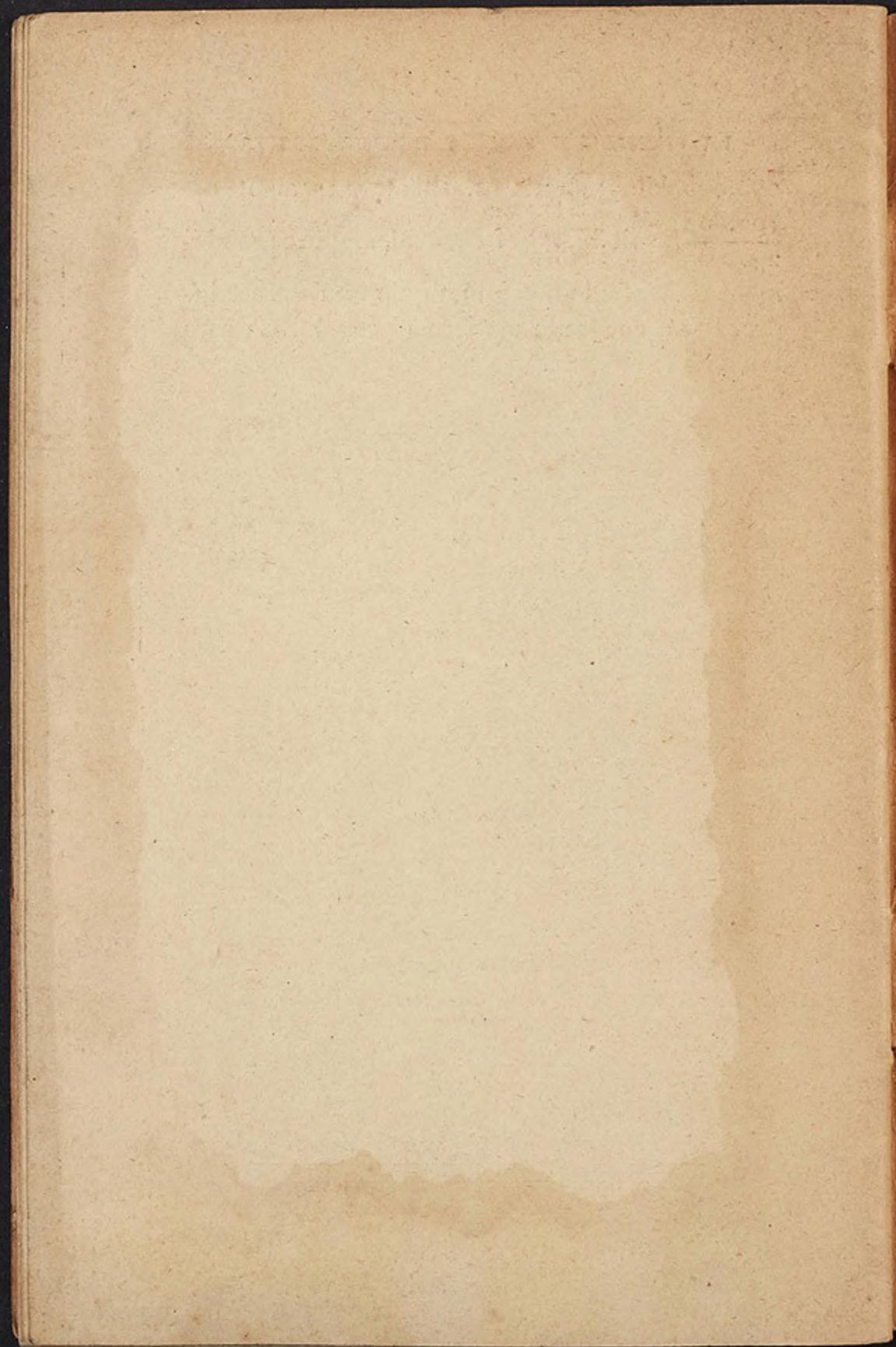
Grâce à cette précaution essentielle, il est probable qu'on n'aura plus à craindre de surprises. Mais on en prend d'autres. D'abord la fabrication du coton-poudre s'effectue avec le plus grand soin. Par des lavages à l'eau après nitration on élimine toute trace d'acide nitrique. On fait bouillir ensuite le coton-poudre avec une solution très diluée d'acide sulfurique pour détruire du premier coup les éthers nitriques instables qui pourraient se trouver mélangés au produit final. On neutralise, on lave de nouveau longuement. Enfin le coton-poudre avant d'entrer dans la poudre B, et la poudre B elle-même, quand elle est finie, subissent des épreuves rigoureuses de stabilité. — 10 grammes de coton-

poudre à 1,3% d'humidité sont chauffés à 110°, dans un tube avec un papier de tournesol bleu jusqu'à ce qu'il commence à virer au rouge. Ce virage ne doit pas survenir avant la huitième heure. — 10 grammes de poudre B sont chauffés de même à 110°, mais pendant plusieurs jours. Le chauffage est interrompu chaque jour dès que le tournesol rougit (toutefois on ne le laisse jamais dépasser dix heures). Puis la poudre est exposée à l'air jusqu'au lendemain. Et ainsi de suite jusqu'à ce que le rougissement ait lieu en moins d'une heure. Les durées de chauffage totalisées atteignent cent heures pour les poudres stables. Et ce critérium est considéré comme suffisant.

Pour terminer, il nous reste à dire un mot du rendement balistique des poudres. Le canon est un moteur thermique dont la poudre est le combustible. Le travail utile se traduit par la force vive du projectile. Ainsi considérons l'obus du canon de 75. Il pèse 7<sup>kg</sup> 2 et part avec une vitesse initiale de 529 mètres par seconde. Il porte donc une énergie cinétique de  $\frac{1}{2} \frac{7,2}{9,8} 529^2$ , soit 102.800 kilogrammètres. La charge propulsive est constituée par 720 grammes de poudre B en lamelles. Le potentiel de la poudre est de 407 tonnes-mètres environ. L'énergie totale contenue dans la charge est donc voisine de

293.000 kilogrammètres. Et le rendement est  $\frac{102.800}{293.000}$ , soit 35,1 %. Il est évident que ce rendement n'est pas le maximum qu'on puisse atteindre. Il y a encore là matière à progrès. Ce sera l'œuvre de l'avenir.





# LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS, 5-7, rue des Beaux-Arts — rue des Glacis, 18, NANCY

## PAGES D'HISTOIRE, 1914-1915

Série de fascicules in-12, brochés.

1. Le Guet-apens. 23, 24 et 25 juillet 1914. . . . .	40 c.
2. La Tension diplomatique. Du 25 juillet au 1 <sup>er</sup> août 1914. . . . .	60 c.
3. En Mobilisation. 2, 3 et 4 août 1914. . . . .	60 c.
4. La Journée du 4 août. . . . .	60 c.
5. En Guerre. Du 5 au 7 août 1914. . . . .	60 c.
Les Communiqués officiels depuis la déclaration de guerre. Du 5 août 1914 au 30 juin 1915. 12 fascicules (N° 6 à 8, 12, 18, 26, 35, 42, 45, 49, 53, 61). — Chaque fascicule . . . . .	60 c.
Extraits du « Bulletin des Armées de la République ».	
9. — I. Les Premiers-Paris. Du 15 août au 3 septembre 1914. . . . .	60 c.
10. — II. Les Premiers-Bordeaux. Du 4 sept. au 21 octobre 1914. . . . .	60 c.
A l'Ordre du Jour.	
Du 8 août au 28 décembre 1914. 13 fascicules (N° 11, 13, 14, 16, 17, 19, 31, 33, 43, 52, 56, 59, 60). — Chaque fascicule . . . . .	60 c.
15. Le Livre bleu anglais (23 juillet-4 août 1914). . . . .	60 c.
20. Le Livre gris belge (24 juillet-29 août 1914). . . . .	60 c.
21. Le Livre orange russe (10/23 juillet-24 juillet/6 août 1914). . . . .	60 c.
22. Le Livre bleu serbe (16/29 juin-3/16 août 1914). . . . .	60 c.
23. La Séance historique de l'Institut de France. Préface de M. H. WELSCHINGER, de l'Institut . . . . .	60 c.
Extraits du « Bulletin des Armées de la République ».	
24. — III. Les Premiers-Bordeaux. Du 24 octobre au 9 déc. 1914. . . . .	60 c.
25. Le Livre blanc allemand (24 juillet-2 août 1914) . . . . .	60 c.
27. L'Allemagne et la Guerre, par Émile BOUTROUX, de l'Académie Française . . . . .	40 c.
28. La Folie allemande. Documents allemands, par Paul VERRIER, chargé de cours à la Sorbonne . . . . .	30 c.
29. La Journée du 22 décembre (Rentrée des Chambres). Préface de M. H. WELSCHINGER, de l'Institut . . . . .	60 c.
30. La Chronologie de la Guerre (31 juillet-31 déc. 1914), par S. R. . . . .	40 c.
32. Le « 75 ». Notions sur le canon de 75, par Th. SCHLESING fils, membre de l'Institut . . . . .	40 c.
34. Les Allemands en Belgique (Louvain et Aerschot). Notes d'un témoin hollandais, par L.-H. GRONDIJS, ancien professeur à l'Institut technique de Dordrecht . . . . .	60 c.

(Voir la suite à la page suivante.)

## HISTOIRE GÉNÉRALE ET ANECDOTIQUE DE LA GUERRE DE 1914

Par JEAN-BERNARD

Paraissant par fascicules grand in-8, avec illustrations et cartes.

Prix du 1 <sup>er</sup> fascicule. . . . .	50 c.
Prix des fascicules suivants . . . . .	75 c.

# LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS, 5-7, rue des Beaux-Arts — rue des Glacis, 18, NANCY

## PAGES D'HISTOIRE, 1914-1915

Série de fascicules in-12, brochés. (Suite.)

36 et 37. Voix américaines sur la guerre de 1914. Chacun . . . . .	60 c.
38. Le second Livre orange russe (19 juillet/1 <sup>er</sup> août-19 octobre) 1 <sup>er</sup> novembre 1914. . . . .	60 c.
39. Le Front. Atlas dépliant de 32 cartes en six couleurs. Préface du général CHERFILS. . . . .	90 c.
40. Paroles allemandes. Préface de l'abbé E. WETTERLÉ, ancien député d'Alsace au Reichstag . . . . .	90 c.
41. Les Poètes de la Guerre. Recueil de poésies parues depuis le 1 <sup>er</sup> août 1914. Préface en vers de Hugues DELORME. . . . .	75 c.
44. La Haine allemande ( <i>Contre les Français</i> ), par Paul VERRIER. .	40 c.
46. Les Neutres. — La Suisse et la Guerre. . . . .	60 c.
47. Le Livre rouge austro-hongrois (29 juin-24 août 1914). . . . .	90 c.
48. Les Campagnes de 1914, par CHAMPAUBERT. Avec 23 cartes. .	60 c.
50. Nos Marins et la Guerre . . . . .	60 c.
51. Le second Livre bleu anglais (3 août-4 novembre 1914) . . . . .	90 c.
54. Les Neutres. — Les Dessous économiques de la Guerre, par Christian CORNÉLISSEN, économiste hollandais. Préface de Charles ANDLER, professeur à la Sorbonne. . . . .	60 c.
55. Le Livre vert italien . . . . .	90 c.
57. Les Volontaires étrangers enrôlés au service de la France en 1914-1915, par M.-C. POINSON . . . . .	60 c.
58. L'Organisation du Crédit en Allemagne et en France, par André LIESSE, membre de l'Institut. . . . .	90 c.
62. La Vie économique en France pendant la guerre actuelle, par Paul BEAUREGARD, membre de l'Institut . . . . .	40 c.
63. L'Œuvre de la France, Articles du journal <i>The Times</i> . . . . .	45 c.
64. La Guerre et les Monuments. <i>Cathédrale de Reims, Ypres;</i> <i>Louvain, Arras</i> , par Lucien MAGNE, inspecteur général des mo- numents historiques. Avec 32 illustrations . . . . .	1 fr.
65. Les Origines historiques de la guerre, par Gabriel ARNOULT, docteur en droit. Avec 4 cartes . . . . .	40 c.
66. Du Rôle de la Physique à la guerre. De l'Avenir de nos Industries physiques après la Guerre, par J. VIOLLE, membre de l'Institut. Avec 26 figures . . . . .	75 c.

## L'ATLAS-INDEX DE TOUS LES THÉÂTRES DE LA GUERRE

- I. Le Front de Bataille en France et en Belgique. — 16 cartes d'ensemble au 600.000<sup>e</sup>, en quatre couleurs, et 24 cartes détaillées au 100.000<sup>e</sup>, donnant les principaux fronts stratégiques. Avec Index alphabétique de 8.352 noms. Grand in-8, relié souple, tranches rouges . . . . . 3 fr.
- II. Le Front Est. Prusse Orientale. Pologne. Galicie. Hongrie. — 33 cartes en couleurs, avec Index de 6.024 noms. . . . . 2 fr. 50