

§ VI.

FORMULES PRATIQUES DES VITESSES ET DES PRESSIONS
DANS LES ARMES.

Les considérations théoriques de thermo-dynamique sur lesquelles reposent ces formules ont été publiées, à diverses époques, dans le *Mémorial de l'artillerie de la marine* (*).

Depuis, l'auteur a remanié son travail et a fait de la détermination des coefficients numériques l'objet d'une nouvelle discussion.

Les formules qui suivent sont le résultat de ces nouvelles recherches.

I. FORMULE DES VITESSES INITIALES.

La vitesse initiale du projectile est représentée par la formule :

$$(1) \quad v = A\alpha(\varpi u)^{\frac{3}{8}} \left(\frac{\Delta}{pc}\right)^{\frac{1}{4}} \left[1 - B\beta \frac{(pu)^{\frac{1}{2}}}{c}\right],$$

dans laquelle on désigne par :

- c le calibre ou diamètre de l'âme,
- u la longueur de parcours du projectile (**),
- p le poids du projectile,
- ϖ le poids de la charge de poudre,
- Δ la densité de chargement (***) ,
- α, β deux coefficients, dits *caractéristiques*, dépendant de la nature de la poudre,

(*) Ces études ont paru dans des brochures séparées, sous les titres suivants : *Recherches théoriques sur les effets de la poudre dans les armes*, *Nouvelles recherches sur les effets de la poudre dans les armes*, *Formules pratiques des vitesses et des pressions dans les armes*, *Note sur les formules pratiques des vitesses et des pressions dans les armes*, par M. E. SARRAU, ingénieur en chef des poudres et salpêtres, Paris, Tanera, 1874-1878. — Nous devons la présente Note à l'obligeance de M. Sarrau.

(**) Cette longueur est la distance qui sépare, à la position de chargement, le culot du projectile de la tranche de la bouche. C'est cette longueur, et non la longueur totale de l'âme, qui influe directement sur la vitesse.

(***) Nous rappelons que la densité de chargement est le rapport du poids de la charge au volume de la chambre à poudre.

A, B deux constantes indépendantes de toutes les conditions du tir.

Les valeurs des constantes A et B sont les suivantes :

$$(2) \quad A = 2,064, \quad B = 0,00763,$$

les unités étant le décimètre, le kilogramme et la seconde.

II. FORMULE DE LA PRESSION MAXIMUM.

Le maximum de la pression développée par les gaz de la poudre est représenté par la formule :

$$(3) \quad P = K\alpha^2\Delta \frac{(p\varpi)^{\frac{1}{2}}}{c^2}.$$

Les éléments de cette formule ont été définis à l'article précédent. K est une constante indépendante de toutes les conditions du tir, dont la valeur est :

$$(4) \quad K = 0,02485,$$

les unités étant, comme précédemment, le décimètre, le kilogramme et la seconde. Par suite, la formule (3) donne la pression en kilogrammes par décimètre carré, et il faut diviser le résultat par 100 pour l'exprimer, suivant l'usage, en kilogrammes par centimètre carré.

III. CARACTÉRISTIQUES DE LA POUDRE.

a) Tableau des caractéristiques des poudres usuelles.

Le tableau ci-après résume les valeurs approximatives des caractéristiques α, β pour les poudres usitées en France :

ESPÈCE de poudre.	NOMBRE de grains au kilogramme.	DENSITÉ réelle.	CARACTÉRISTIQUES	
			α .	β .
W (25-30)	60	1,810	886	0,976
W (20-25)	110	1,800	979	1,192
W (16-20)	230	1,775	1000	1,245
W (13-16)	350	1,750	1077	1,442
W (10-13)	600	1,715	1186	1,749
SP ₂	105	1,810	1049	1,369
SP ₁	350	1,790	1276	2,066
C ₂	625	1,760	1415	2,531
C ₁	1570	1,745	1678	3,592

Les poudres W, ou poudres de Wetteren (p. 347), sont au dosage : salpêtre 75, soufre 12,5, charbon 12,5. Les autres poudres, de fabrication française (p. 349), sont au dosage anglais : salpêtre 75, soufre 10, charbon 15.

b) Détermination expérimentale des caractéristiques.

Pour une même poudre, caractérisée par un système de valeurs de α , β , la vitesse initiale dépend des 5 quantités :

$$c, u, p, \omega, \Delta,$$

auxquelles elle est liée par la formule (1).

On voit, d'après la forme de cette relation, que les valeurs de α , β sont déterminées quand on connaît les vitesses obtenues dans deux conditions de tir définies par deux systèmes de valeurs particulières des variables, pourvu que l'une au moins des trois premières ait, dans les deux tirs, des valeurs différentes. On a alors, en effet, deux équations distinctes entre α et β .

Soit, pour abrégé :

$$(5) \quad \left\{ \begin{array}{l} A(\omega u)^{\frac{3}{5}} \left(\frac{\Delta}{pc}\right)^{\frac{1}{4}} = \frac{1}{X}, \\ B \frac{(pu)^{\frac{1}{2}}}{c} = Y. \end{array} \right.$$

L'équation (1) peut s'écrire :

$$Xv = \alpha - \alpha\beta Y.$$

Désignant par $X_1, Y_1; X_2, Y_2$, deux systèmes de valeurs particulières de X, Y , et par v_1, v_2 les vitesses mesurées correspondantes, on a les deux équations :

$$\begin{cases} X_1 v_1 = \alpha - \alpha\beta Y_1, \\ X_2 v_2 = \alpha - \alpha\beta Y_2. \end{cases}$$

On calcule d'abord $\alpha\beta$ par la formule :

$$\alpha\beta = \frac{X_2 v_2 - X_1 v_1}{Y_1 - Y_2},$$

puis α par les deux relations :

$$\begin{aligned} \alpha &= X_1 v_1 + \alpha\beta Y_1, \\ \alpha &= X_2 v_2 + \alpha\beta Y_2, \end{aligned}$$

qui se vérifient mutuellement. On a enfin β en divisant l'un par l'autre les deux nombres ainsi obtenus.

c) Calcul des caractéristiques d'une poudre d'après ses propriétés physiques.

On peut aussi obtenir des valeurs approchées de α, β , en se fondant sur les relations théoriques :

$$(6) \quad \alpha = \left(\frac{fa}{\tau}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad \beta = \frac{\lambda}{\tau},$$

dans lesquelles on désigne par :

- f la force de la poudre (p. 492),
- τ la durée de la combustion du grain sous la pression atmosphérique normale,
- α, λ deux coefficients dépendant de la forme du grain.

Valeurs de f . — On peut supposer approximativement, pour les poudres usuelles (p. 510) :

- 1° $f = 268000$, pour les poudres de Wetteren (*);
- 2° $f = 261000$, pour les poudres de fabrication française (p. 500).

(*) Les valeurs des constantes A, B de la formule (1) ayant été déterminées par le

Valeurs de τ . — La durée de combustion d'un grain est donnée par la formule :

$$(7) \quad \tau = \frac{e}{2w},$$

où l'on désigne par :

- e la moindre dimension du grain,
- w la vitesse de combustion de la matière du grain.

La vitesse de combustion sous la pression atmosphérique normale varie, suivant des lois imparfaitement connues (p. 454), avec les conditions de la fabrication. On peut supposer approximativement que cet élément varie :

- 1° De 10 à 13^{mm} par seconde, pour les poudres de Wetteren;
- 2° De 12 à 15^{mm} par seconde, pour les poudres au dosage anglais de fabrication française.

Valeurs de a, λ . — Les grains de poudre usités dans la pratique peuvent être :

- 1° Complètement irréguliers. — Dans ce cas, on leur substitue une sphère moyenne (*).
- 2° Parallépipédiques. — Un grain parallépipédique est caractérisé par les rapports x, y de la moindre des trois dimensions aux deux autres. On a fréquemment $y = x$. Quand $y = x = 1$, le grain est cubique.

tir, dans deux conditions différentes, d'une poudre française dont les caractéristiques avaient été calculées à l'aide des formules (6), on a pu en déduire expérimentalement, comme nous l'avons montré, les caractéristiques α, β d'une poudre de Wetteren et, par suite, la valeur de la force f des poudres W, en vertu des relations :

$$(6') \quad f = \frac{\tau \alpha^2}{a}, \quad \tau = \frac{\lambda}{\beta}.$$

Ces dernières formules, jointes à la relation (7), permettent ainsi de déterminer par l'expérience (α, β) la force f et la vitesse de combustion w d'une poudre dont les grains ont une forme (a, λ) et une dimension minimum e connues. On peut de même calculer la force f et la dimension minimum des grains e , pour une poudre dont la forme et le mode de fabrication sont donnés et qui doit satisfaire à des conditions de tir également déterminées.

(*) Le rayon du grain sphérique moyen se calcule par la formule :

$$r = \left(\frac{3}{4\pi\delta N} \right)^{\frac{1}{3}},$$

N étant le nombre de grains au kilogramme et δ la densité réelle du grain.

3° Cylindriques percés. — Un grain cylindrique percé suivant son axe d'un trou cylindrique présente deux dimensions : la hauteur du cylindre et la différence des rayons des bases. Il est caractérisé par le rapport x de la moindre de ces deux dimensions à la plus grande.

Les valeurs de a, λ correspondant à ces trois cas sont résumées dans le tableau ci-après :

DÉSIGNATION DE LA FORME DU GRAIN.	VALEURS DES COEFFICIENTS	
	$a.$	$\lambda.$
Sphérique ou cubique.	3	1
Parallépipédique.	$1 + x + y$	$\frac{x + y + xy}{1 + x + y}$
Cylindrique percé.	$1 + x$	$\frac{x}{1 + x}$

IV. MAXIMUM DES VITESSES.

Quand on substitue dans la formule (1) les valeurs (6) de α, β , on en déduit que, si l'on fait varier τ , pour des valeurs données de tous les autres éléments, la vitesse passe par un maximum.

La valeur de τ correspondant à ce maximum est donnée par la relation :

$$(8) \quad B \frac{\lambda(pu)^{\frac{1}{2}}}{\tau c} = \frac{4}{3},$$

et, en désignant cette valeur par τ_1 , on a :

$$(9) \quad \tau_1 = 3B \frac{\lambda(pu)^{\frac{1}{2}}}{c}.$$

Le maximum de la vitesse est donné par la formule :

$$(10) \quad v_1 = A_1 \left(\frac{fa}{\lambda} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{\omega^{\frac{3}{8}} \Delta^{\frac{1}{4}} c^{\frac{1}{4}} u^{\frac{1}{8}}}{p^{\frac{1}{2}}},$$

la valeur numérique de la constante étant :

$$A_1 = 13,643.$$

V. REMARQUES SUR L'EMPLOI DE LA FORMULE DES VITESSES.

La formule (1) suppose essentiellement l'emploi d'une poudre elle que la durée de l'inflammation de la charge soit négligeable par rapport à la durée de la combustion du grain. Cette condition est réalisée depuis l'adoption, à peu près générale aujourd'hui, des poudres progressives.

Il est aussi à remarquer que cette formule donne généralement des résultats *trop faibles*, quand on l'applique à des conditions de tir telles que la valeur numérique du second terme du facteur :

$$\left[1 - B\beta \frac{(pu)^{\frac{1}{2}}}{c} \right],$$

dépasse 1/3.

Ces conditions sont d'ailleurs à éviter dans la pratique. En effet, la relation (8) montre qu'elles résultent du choix d'une poudre plus vive que celle du maximum de vitesse : elles entraînent, par suite, un abaissement de la vitesse et un accroissement de la pression.

SECTION IV.

APPAREILS DE MESURE DES EFFETS BALISTIQUES
DE LA POUDRE.

Les appareils de mesure des effets balistiques de la poudre se divisent en deux catégories principales :

1° Les appareils destinés à mesurer le mouvement imprimé par les gaz de la poudre, soit au projectile, soit à la pièce elle-même ou à un appendice spécial relié à celle-ci ;

2° Les appareils destinés à mesurer l'action des gaz sur les parois de l'âme ou de la chambre à poudre, c'est-à-dire les pressions intérieures