74e année — 3 janvier 1948 — N° 1

# BULLETIN TECHNIQUE
## DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

**Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.**





# Une solution graphique du problème de Lagrange en balistique intérieure

par M. le Dr P. DE HALLER, ingénieur en chef de la maison Sulzer Frères. [1]

La balistique intérieure classique admet, dans l'étude du mouvement du projectile dans la bouche à feu, que l'écoulement des gaz est quasi permanent. Ceci permet de traiter le problème au moyen de la seule équation d'énergie, en égalant à chaque instant l'énergie dégagée par la combustion de l'explosif à l'énergie cinétique du projectile et des gaz brûlés. Cette méthode a fait ses preuves dans tous les cas où la vitesse initiale n'est pas trop élevée, ou plus exactement lorsque le poids de la charge propulsive est petit par rapport à celui du projectile. Cette condition n'est plus remplie dans les armes à feu modernes, et l'estimation de l'énergie cinétique des gaz, qui représente alors une forte fraction de l'énergie totale, devient difficile. Comme il s'agit d'un exemple typique d'écoulement non permanent, la solution analytique du problème se heurte à de grosses difficultés. La première tentative remonte à Lagrange, qui a simplifié la question en admettant que la combustion de l'explosif est terminée avant la mise en mouvement du projectile. Sous cette forme, la solution complète et exacte a été donnée par Gossot et Liouville [2], et Love et Pidduck [3], mais, indépendamment de l'hypothèse de Lagrange beaucoup trop éloignée de la réalité, les calculs numériques sont d'une telle complexité que l'on ne peut guère faire usage de ces résultats. Le but de cette note est de montrer comment le calcul graphique permet non seulement de lever cette difficulté mais encore de s'affranchir de toute hypothèse particulière relative à l'allure de la combustion en fonction du temps ou de la pression.

Je rappellerai tout d'abord rapidement le principe de la méthode [4].

Le mouvement varié d'un fluide élastique, contenu dans un tube cylindrique rigide et isolé thermiquement est défini par deux équations, exprimant la continuité et le théorème des quantités de mouvements :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{dx} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} = 0. \tag{1}$$

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial x} = 0. \tag{2}$$

A cause de l'hypothèse d'un écoulement adiabatique jointe à l'équation d'état, la densité $\rho$ est une fonction de la pression (pour un gaz parfait $\rho/\rho_0 = (p/p_0)^{1/k}$). Introduisant un potentiel de vitesse $\varphi$ tel que $u = \frac{\partial \varphi}{\partial x}$ et la vitesse du son $a = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$ on obtient

$$\varphi_{tt} + 2\varphi_x \varphi_{xt} + (\varphi_x^2 - a^2)\, \varphi_{xx} = 0. \tag{3}$$

[1] Communication présentée au 6e Congrès international de mécanique appliquée, Paris, septembre 1946.

[2] Balistique intérieure, Baillière, Paris, 1922.

[3] Phil. Trans. Roy. Soc. London A Vol. 222, 1922, p. 167-226.

[4] Revue Technique Sulzer, 1945, N° 1, p. 6-24.