

Contribution à l'étude des presses à extrusion

Par Louis LOCUSSOL,

Ingénieur E.N.A. - Conseiller technique.

La généralisation de la distribution des aliments composés sous forme de petits solides prismatiques baptisés cubes, bouchons ou granulés selon la forme et la taille de leur base, a poussé la majorité des fabricants à acquérir le matériel approprié à une telle production.

Ce matériel se réduit, au minimum, à une PRESSE, machine facilement qualifiée de diabolique, tant son comportement capricieux semble inaccessible à tout raisonnement.

De fait, depuis la disparition des presses à frettes qui procédaient par moulage, les presses à extrusion qui les ont remplacées représentent de loin l'appareil mécanique le plus complexe de toute l'usine ; elle met en effet simultanément en cause un bon nombre de lois physiques et physico-chimiques peu connues. Cependant, comme nous le verrons ci-dessous, le fonctionnement des presses à extrusion suit des lois rigoureuses qui concordent parfaitement avec l'observation et l'expérimentation de la pratique courante.

LE PHENOMENE D'EXTRUSION.

Nous avons, plus haut, volontairement employé le terme de PRESSE à EXTRUSION au lieu des vocables plus usuels de presse à agglomérer ou presse à cuber utilisés par la plupart des documents publicitaires ; il rappelle plus exactement le principe fondamental de la machine.

Ainsi abordée, l'étude des presses se ramène à l'étude analytique du phénomène d'extrusion.

L'extrusion (fig. 1) peut se définir comme l'opération qui consiste à forcer un matériau plastique contenu dans une enceinte à s'écouler au travers d'orifices A percés dans cette enceinte.

Dans ces conditions, c'est donc la résistance à l'écoulement R, des orifices, qui engendre la force F, égale et opposée, nécessaire à produire le mouvement. Ce sont ainsi les forces négatives de FROTTEMENT qui sont responsables de la PRESSION qui

règne dans l'enceinte, et par là provoquent la prise en masse des produits pulvérulents, tels que ceux utilisés en provenderie.

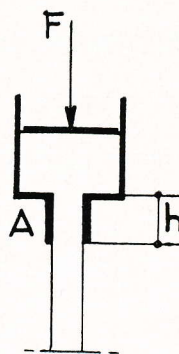


Fig. 1

La filière apparaît bien ainsi comme la pièce essentielle des presses à extrusion. Elle représente une collection d'ajutages identiques et il nous suffira de raisonner sur l'un d'eux pour dégager les lois qui nous intéressent.

Considérons l'ajutage A de longueur h de la figure 1 ; nous pouvons l'assimiler, quant à sa résistance au frottement, au bouchon de longueur h de la figure 2 constitué de la même matière et se déplaçant dans un tube de même section que A.

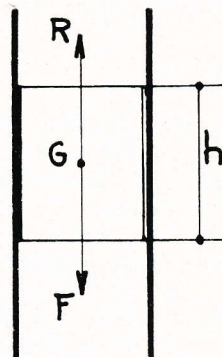


Fig. 2

On démontre en particulier qu'il existe une relation exponentielle entre la force F d'avancement et

la longueur h du bouchon. Nous retiendrons simplement que **la force F varie dans le même sens que la longueur h du bouchon.**

Conséquence 1.

Il résulte de ce qui précède que pour augmenter la pression qui règne dans l'enceinte, le diamètre des ajutages étant constant, il suffira d'augmenter la longueur de cet ajutage. Comme dans la réalité, les ajutages sont constitués par les trous percés dans la filière, il conviendra d'augmenter l'épaisseur de cette dernière.

LES LOIS DU « FROTTEMENT SEC ».

C'est Coulomb qui a exploré le premier le frottement solide contre solide, d'où le nom de lois de Coulomb que l'on donne également aux lois qu'il a énoncées.

1^{re} loi. — Le coefficient de frottement est constant pendant le mouvement, quelle que soit la vitesse.

Conséquence 2.

Toutes conditions étant égales par ailleurs, la force nécessaire à l'extrusion est indépendante de la vitesse d'extrusion.

2^e loi. — Le coefficient de frottement est indépendant de l'intensité de la réaction normale.

3^e loi. — Le coefficient de frottement est indépendant de l'étendue des surfaces en contact, donc de la pression.

4^e loi, la plus importante dans notre domaine. — Le coefficient de frottement dépend de **la nature des matériaux en contact et de l'état de leur surface.**

Conséquences :

3. — Si le matériau à extruder change, la pression à exercer changera également, à moins de modifier les caractéristiques de l'ajutage (conséquence 1), « de donner plus ou moins de compression à la filière ». **Il ne peut pas exister de filières universelles valables avec tous les produits.**

4. — L'état de surface a une influence considérable sur le coefficient de frottement, et deux filières apparemment identiques peuvent présenter un comportement absolument différent selon la qualité de l'usinage des trous. Le **RODAGE**, dans la plupart des cas, atténue ces différences mais ne les supprime pas toujours.

Remarques.

Depuis les travaux de Coulomb, on a constaté que le coefficient de frottement dépend à la fois de la pression exercée par le mobile sur son support et de la vitesse relative des deux surfaces en contact.

LES PRESSES A EXTRUSION CONTINUE.

Les mécanismes de compression que nous connaissons sont tous du type continu en ce sens que la pression qu'ils exercent sur la matière est continue, par opposition aux presses à piston, par exemple, qui opèrent sur des lots successifs de produit.

Par ailleurs, toutes les machines en service procèdent par **COINCEMENT** de la matière entre 2 surfaces en mouvement relatif formant entre elles un angle α . L'une de ces surfaces constitue la filière.

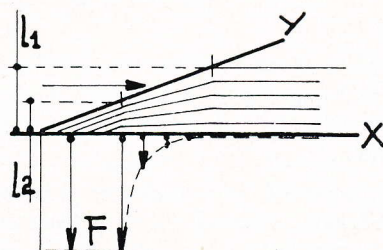


Fig. 3

La figure 3 schématise le processus de la compression par coincement. La surface Y se déplace suivant la flèche, parallèlement à la surface X . Le produit, d'abord à l'état de contact, étalé et adhère à la surface de la filière X sur une épaisseur l_1 , se comprime progressivement, selon une loi qui fera l'objet d'une étude spéciale ultérieure, jusqu'à se réduire à la hauteur l_2 telle que la réaction normale F à X atteigne la valeur suffisante pour provoquer l'extrusion à travers les ajutages de la filière, soit précisément la valeur des forces de frottement que nous avons mis en évidence ci-dessus.

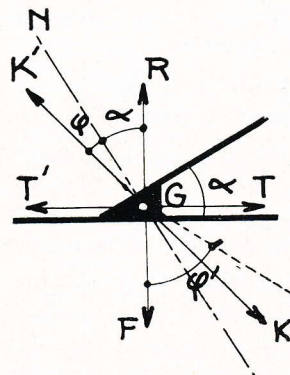


Fig. 4

A partir de cet instant, et pour des valeurs de $\frac{l_1}{l_2}$ généralement comprises entre 1,6 et 2,2, la matière atteint l'état cohérent à déformation plastique et peut être assimilée à un coin solide.

Nous pouvons établir une relation simple entre l'effort T appliqué au plan incliné et la force d'extrusion responsable de la compression.

La mécanique nous donne :

$$T = F \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \quad (1)$$

avec T : effort de déplacement du plan incliné

F : force de frottement dans les ajutages

α : angle de coincement

φ : angle de frottement de la matière sur le plan incliné.

Pour qu'il y ait glissement le long du plan incliné, il faut que :

$$\alpha < \frac{\pi}{2} - \varphi \quad (2)$$

Si cette condition n'est pas remplie, le coin sera entraîné par le plan incliné. C'est le glissement de la marchandise sur la filière que l'on observe si fréquemment et qui se manifeste par un arrêt brusque du débit et une chute de puissance immédiate.

Conséquences :

5. — La condition $\alpha < \frac{\pi}{2} - \varphi$ avec φ variable selon les matériaux en contact implique un coefficient de frottement minimum, donc un polissage parfait du plan incliné.

6. — La même condition oblige à choisir un angle α suffisamment réduit pour que le glissement ait lieu avec tous les produits.

En pratique, on substitue une surface courbe au plan incliné, de telle sorte qu'il existe toujours un angle de coincement convenable.

7. — Nous avons posé comme condition initiale un glissement nul des matériaux sur la filière, ce qui suppose :

$$\alpha + \varphi < \varphi' \quad (3)$$

φ' : angle de frottement du produit sur la filière.

C'est toujours le cas d'une filière qui « accroche » bien, dont la surface est assez rugueuse pour que φ' s'identifie à l'angle de frottement interne du produit, toujours supérieur au frottement produit sur métal.

Cet accident peut toutefois se produire lorsque la surface de la filière a été endommagée pour une

raison quelconque, souvent par un contact intertemporel avec le plan incliné ou un autre objet métallique.

PRESSES A VIS ET A CAMES.

Ce sont les plus anciennes, et nombre d'exemplaires sont encore en service.

Elles constituent une application directe du plan incliné par la forme de la filière. En effet, jusqu'à présent, nous avons supposé une filière théorique indéfinie. Pratiquement, les ajutages sont disposés, soit sur une couronne circulaire dans les presses à vis (fig. 5 a), soit sur une surface cylindrique dans les presses à cames (fig. 5 b).

Remarque :

La pression est bien constante et continue en considérant sa réaction sur les plan inclinés, par contre il est important de noter que pour une portion de filière, elle est discontinue, qu'elle procède par IMPULSIONS, comme on peut le constater en observant la saillie des comprimés sur une presse à filière fixe.

Chaque ajutage ne fonctionne qu'un court instant pendant lequel il se trouve intéressé par le « coin » de matière.

Or, toute déformation en milieu visqueux fait intervenir la notion de TEMPS DE RELAXATION introduite par Maxwell dans la relation :

$$\frac{R}{V} = TK \quad (4)$$

R = résistance à la déformation

V = vitesse de la déformation

K = module de rigidité du produit

T = temps de relaxation du produit.

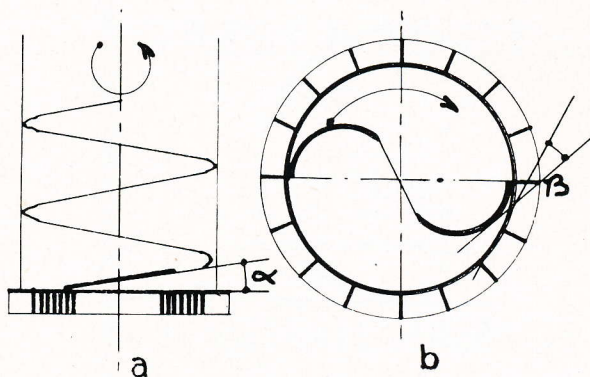


Fig. 5

Il apparaît que la rigidité ou résistance à la déformation est proportionnelle à la vitesse qui l'engendre.

Comme l'extrusion implique une déformation du coin, celui-ci se rapprochera d'autant plus d'un solide que la vitesse sera grande.

Ce principe explique un phénomène étrange à priori que nous avons eu l'occasion d'observer :

Dans certaine limite à puissance égale, et pour un même produit et une même filière, le débit d'une presse est inversement proportionnel à la vitesse (fig. 6).

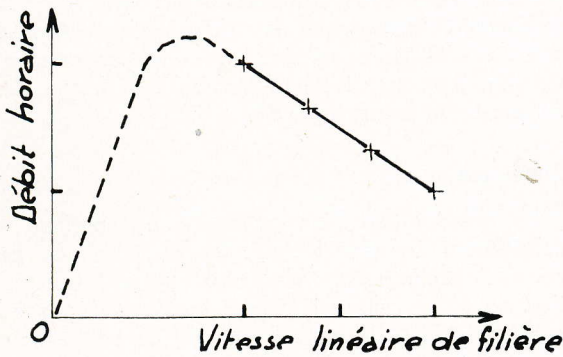


Fig. 6

Comme il est certain qu'à vitesse nulle, le débit est nul, il faut admettre qu'il existe un maximum à cette courbe, et que nous l'avons largement dépassé.

Conséquence 8.

La rigidité diminuant avec la température, l'apport de calories, en principe par la vapeur, augmente le débit selon ce processus et constitue l'adjuvant indispensable des vitesses élevées.

PRESSES A GALETS.

Très tôt, les constructeurs ont substitué le frottement de roulement, beaucoup plus réduit, au frottement de glissement, augmentant ainsi de façon très appréciable le rendement des machines.

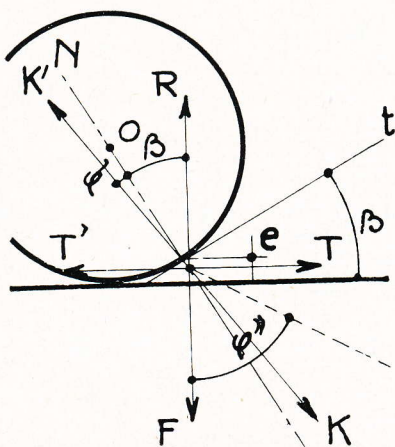


Fig. 7

Dans tous les modèles récents, le plan incliné a cédé la place au GALET et des deux systèmes précédents découlent tous les systèmes les plus récents, les relations 1 et 2 continuant toutefois de leur être applicables, mais l'angle de coincement B est défini par des plans tangents aux surfaces cylindriques (fig. 7 et 8).

Le système de la figure 7 dérive de la presse à vis, alors que le système de la figure 8 dérive de la presse à came.

Il est remarquable que cette dernière formule ait fini par s'imposer et soit retenue par toutes les grandes marques. Il faut y voir un rendement supérieur et des frais d'entretien plus réduits.

En effet, si le système à filière discoïde (fig. 7) alimentée verticalement de haut en bas présente l'avantage d'une répartition facile de la marchandise, elle a l'inconvénient d'un débit à peu près moitié par galet à taille égale et oblige à multiplier le nombre de galets.

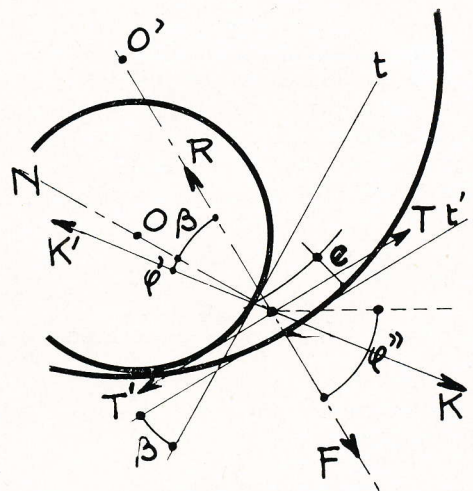


Fig. 8

On démontre en effet géométriquement que pour un même angle de coincement B et un même galet, la hauteur e du « coin » est sensiblement 2 fois plus grande avec une filière cylindrique (fig. 8) qu'avec une filière discoïde (fig. 7).

D'autre part, les vitesses différentielles entre l'extérieur et l'intérieur du chemin de roulement des galets impriment un mouvement de torsion à la masse comprimée qui engendre un couple résistant supplémentaire dont le travail vient en déduction du rendement.

EQUATION FONDAMENTALE DE LA PRESSE A EXTRUSION.

Reportons-nous à la figure 4, nous voyons que la force T qu'il faut appliquer au plan incliné pour

provoquer son déplacement à la vitesse V en régime permanent absorbe une puissance égale à VT , donc :

$$P = K_1 VT \quad (5)$$

P = puissance absorbée

K = coefficient de proportionnalité

V = vitesse linéaire relative des 2 plans

T = force nécessaire au déplacement.

Comme par ailleurs le débit Q est proportionnel à la vitesse V :

$$Q = f(V) \quad (6)$$

et d'après (1) :

$$T = f(F) \quad (7)$$

nous pouvons écrire :

$$P = K_2 Q F \quad (8)$$

avec Q = débit de la filière

F = pression d'extrusion.

Nous avons vu que cette pression F était celle qui provoquait la coalescence des particules et était à ce titre responsable de la dureté des produits extrudés, de leur **cohésion** dont les dimensions sont celles d'une **pression**.

Nous voyons apparaître une analogie entre l'expression de la puissance d'une presse et celle d'une turbo-machine, de la forme :

$$P = KQH \quad (9)$$

Nous mettons également en évidence la **relation inverse** qui existe **entre le débit Q et la cohésion C des comprimés**.

Nous pouvons écrire en première approximation :

$$Q = f\left(\frac{1}{C}\right) \quad (10)$$

Le débit d'une presse comme la dureté des granulés est en premier lieu une question de **filière**.

Conclusion.

A l'issue de cette étude, nécessairement réduite à l'essentiel, nous voyons que les presses à extrusion, contrairement à l'opinion courante, obéissent à des lois bien définies, relativement simples, et qu'il n'y a pas de miracles en la matière en dehors des soins apportés à l'usinage de la pièce fondamentale que représente la FILIERE.

Cependant, la diversité des machines actuelles, comme les écarts importants dans les performances, nous autorise à penser que des progrès considérables peuvent encore se réaliser dans un proche avenir.

Nous souhaitons que la présente étude, fondée sur des lois immuables de la physique, ouvre la voie à quelques-uns de ces progrès et rende service à la fois aux constructeurs et à la profession.

Jeunes gens !

inscrivez-vous à

l'École Française

de Meunerie

MOUGEL & C^{ie}

Maison fondée en 1882

6, Rue Sainte-Catherine NANTES

Téléph. : 71 - 11 - 03

GAZES A BLUTER

SOIES - NYLON

- Tissus filtrants et Confection.
- Toiles métalliques.
- Tôles perforées - Brosserie.

**FOURNITURES GÉNÉRALES
POUR MOULINS**