

Écoulement des additifs utilisés en alimentation animale lors d'un dosage par extracteurs lamellaires

Le dosage des additifs peut être effectué par des extractions à vis d'Archimède, mais également par des extracteurs lamellaires. Leur principe paraît assez simple : le fond plat de la cellule est pourvu de lames fixes et de lames mobiles (**Figure 1**). Le mouvement de ces dernières permet l'écoulement du produit. Ce mouvement peut être réglé sur différents indices commandant l'importance de la translation et donc la grandeur de l'ouverture. L'influence des caractéristiques physiques des produits sur les paramètres de sorties de ce type d'extracteurs (débit, variation du débit) est méconnue.

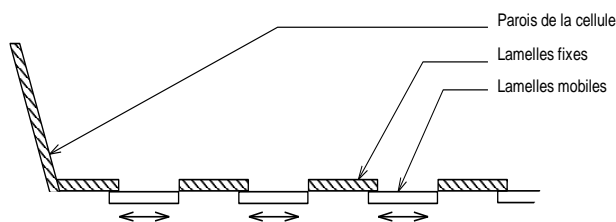


Figure 1 : Schéma d'un extracteur lamellaire

1. Essais industriels

1.1. Objectif et Principe

L'objectif est d'étudier l'influence des caractéristiques physiques des produits et des indices d'extraction sur les débits et leur régularité. Le cœur des essais est réalisé sur 5 additifs de référence par 20 à 30 mesures de la quantité de produit écoulee pendant une même unité de temps à trois indices d'extraction.

D'autres mesures de débits portent sur 7 produits complémentaires avec un plus grand nombre d'indices d'extraction, mais avec un nombre de mesures variables selon les indices.

1.2. Matériel

Cinq produits de références sont employés. Il s'agit des mêmes que ceux utilisés pour les essais sur dosage avec des vis d'Archimède (i'Tec_P2). Dans ce cas, les essais sont complétés par d'autres tests faits sur 7 autres produits.

Les cellules utilisées sont rectangulaires, en acier, d'une capacité maximum de 5 m³. Leur section est de 750 x 750 mm. La partie basse des cellules est

composée d'un double cône d'un volume de 1.5 m³. Les cellules sont toutes au-dessus de la même benne peseuse.

La charge maximum admissible de la benne peseuse est de 400 kg. Sa précision est de +/- 50 g (échelon de 100 g). Cette précision est bonne et vérifiée régulièrement sur toute la plage de mesure. Les indices d'extraction peuvent être fixés sur 15 échelons fixes. Plus l'indice est grand et plus le débit augmente, mais la section ouverte n'est pas proportionnelle avec la valeur de l'indice et la relation semble être du type :

$$\sqrt{\text{Débit}} = a \cdot \text{Indice} + b$$

L'utilisation des extracteurs lamellaires dans le cadre de cet essai n'est pas directement en rapport avec leur principe d'utilisation usuel, car il s'agit ici de tester le comportement des produits et non pas le matériel. Dans la pratique courante, l'automate est programmé pour piloter seul la diminution de l'indice d'extraction en fonction de la quantité de produit restante à doser sous la forme de seuil. Cette technique permet d'obtenir la précision escomptée.

1.3. Méthode

Pour réaliser les mesures sur les 5 additifs de référence (A à E), un indice d'extraction moyen I2 permettant l'extraction de 50 % du remplissage initial sur 15 minutes est déterminé. Cet indice fixe automatiquement les indices inférieurs (I1) et supérieur (I3) par la montée ou la descente d'un échelon.

Pour réaliser la totalité des mesures, 3 remplissages et 3 vidanges des cellules sont prévus. Après chaque remplissage de la cellule, 10 mesures sont réalisées à chaque indice. Ainsi, il est possible de prévoir une vidange de la cellule identique à la fin de chaque essai. Les successions d'indice testées varient après chaque remplissage :

- série 1 : 10 x I1, 10 x I2, 10 x I3
- série 2 : 10 x I2, 10 x I3, 10 x I1
- série 3 : 10 x I3, 10 x I1, 10 x I2

En raison de difficultés intervenues dans la série 1, il s'est avéré impossible d'analyser les résultats de cette série pour les 3 premiers produits (A à C). Ainsi, seules 20 mesures sont valides pour ces 3

produits.

Pour les sept produits complémentaires, de 1 à 7 mesures sont réalisées par indice d'extraction, mais la gamme d'indice testée va de 3 à 15. De plus, le niveau de remplissage des cellules avant et pendant l'essai n'est pas maîtrisé. Ainsi, la précision de la mesure des débits est moindre pour ces 7 produits.

1.4. Résultats

L'impossibilité de pratiquer les mêmes indices d'extractions pour l'ensemble des produits conduit à réaliser la comparaison des résultats sur la base des équations d'évolution du débit en fonction des indices et notamment de la pente de cette équation (a) et du coefficient de détermination (R^2), image de sa justesse.

La Figure 2 présente des relations obtenues pour les produits de référence. Les intervalles correspondent à +/- un écart-type.

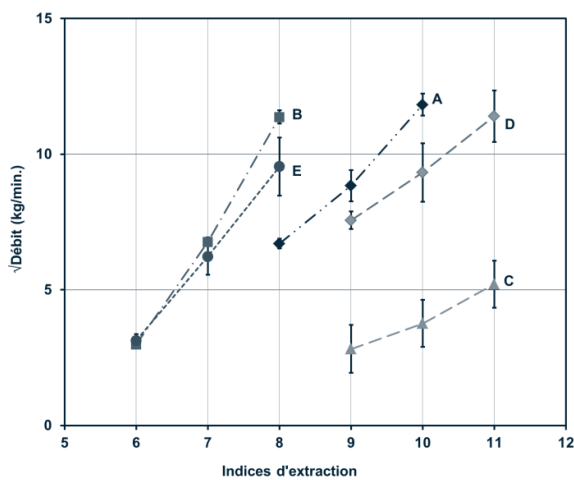


Figure 2 : Evolution du débit en fonction des indices d'extraction pour les 5 produits de référence

Le coefficient **b** (Tableau 1) correspond à la racine de la valeur de débit quand l'indice est nul. Comme les produits stoppent leur écoulement avant la valeur 0, ce coefficient est donc toujours négatif. Le coefficient **a** correspond à la pente de la droite. Un paramètre intéressant peut être calculé par le rapport $-a/b$ qui correspond à la valeur de l'indice d'extraction pour un débit nul. Cet indice est noté I_0 . Le Tableau 1 indique les valeurs de chacun des coefficients et celle du coefficient de détermination obtenu pour chacun des 5 produits.

Produits	b	a	I_0	R^2
A	- 13.92	2.56	5.4	95.5
B	- 22.28	4.19	5.3	99.5
C	- 8.02	1.19	6.7	56.4
D	- 9.78	1.92	5.1	77.8
E	- 16.14	3.21	5.0	92.7

Tableau 1 : Coefficients du modèle du débit en fonction des indices d'extraction et coefficients de détermination pour les produits de référence

Le Tableau 2 donne les mêmes paramètres pour les 7 produits complémentaires.

Produits	b	a	I_0	R^2
F	- 7.07	1.35	5.2	95.2
G	- 3.18	1.17	2.7	87.6
H	- 16.19	3.30	4.9	97.6
I	- 20.21	4.54	4.5	95.5
J	- 4.89	1.32	3.7	94.0
K	- 7.09	1.63	4.3	93.1
L	- 20.36	2.61	7.8	95.6

Tableau 2 : Coefficients du modèle du débit en fonction des indices d'extraction et coefficients de détermination pour les 7 produits complémentaires

A l'exception du produit A, les écart-types des débits croissent avec les niveaux d'extraction. Après transformation des débits en leur racine, les écart-types sont beaucoup plus indépendants de l'augmentation de l'indice, ainsi l'expression sous forme de coefficients de variation donne des résultats assez homogènes par produit quels que soient les indices d'extraction. La hiérarchie des produits dans l'ordre croissant de leurs coefficients de variation est :

$$B \leq A < D \leq E < C$$

Ce classement est pratiquement celui qui définit la croissance des coefficients de détermination à l'exception des positions des produits E et D (Tableau 1) :

$$B > A > E > D > C$$

Le coefficient de détermination semble donc un bon critère d'un comportement du produit à l'écoulement. Le coefficient de détermination correspond au pourcentage de variation expliqué par le modèle par rapport à la variation totale observée. Ainsi, plus les points sont proches de la droite, plus le coefficient est proche de 100 %. Il correspond donc à une image de la dispersion des points autour de la droite et donne le pourcentage de chance d'obtenir un débit moyen désiré quand un indice est choisi. La **pente de l'équation a** est un autre paramètre qui indique le mode de croissance du débit en fonction de l'indice. La hiérarchie des produits est alors différente :

$$B > E > A > D > C$$

Enfin, la **valeur de l'indice I_0** est un autre paramètre d'écoulement qui semble également différent, car le classement des produits devient :

$$C > A > B > D > E$$

Ces 3 paramètres ont été comparés aux caractéristiques physiques des poudres sur la base des produits de référence. Les produits complémentaires ont été additionnés a posteriori.

2. Relation avec les caractéristiques physiques des additifs

L'étude des corrélations entre les paramètres industriels et les caractéristiques de laboratoire des produits (plus de 40 testées) met en évidence des relations avec les masses volumiques, et surtout les caractéristiques d'écoulement.

2.1. Masses volumiques

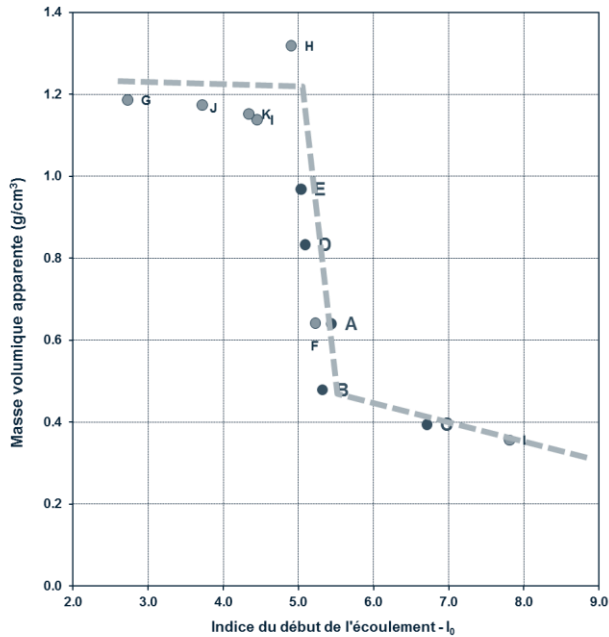


Figure 3 : Influence de la masse volumique apparente sur l'indice de début d'écoulement I_0

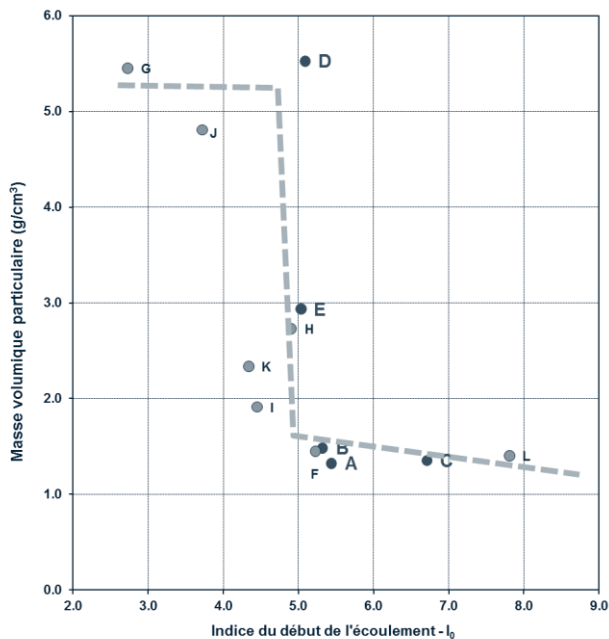


Figure 4 : Influence de la masse volumique particulaire sur l'indice de début d'écoulement I_0

C'est l'indice du début de l'écoulement (I_0) qui semble influencé par les masses volumiques et un effet de seuil est mis en évidence.

Cet effet semble plus net avec la masse volumique apparente (Figure 3 – i'Tec_Q9) qu'avec la masse volumique particulaire (Figure 4 – i'Doc_Q5). Ceci est essentiellement dû aux positions des produits complémentaires.

En masse volumique apparente, vers 1.2 g/cm³, l'indice est variable mais toujours inférieur à 5. Entre 1.2 et 0.5 g/cm³, l'indice est toujours voisin de 5. Au-dessous de 0.5 g/cm³, les indices croissent rapidement au-dessus de 5.

Cet effet semble être celui du rapport entre la force de gravité et les forces de tension particulaire limitant l'écoulement.

2.2. Indices d'écoulement

Deux indices d'écoulement sont mis en relation avec la pente d'évolution du débit a.

Avec les produits de référence, l'angle de talus par éboulement apparaît être un bon prédicteur de la pente d'évolution du débit (de sa racine carrée) en fonction de l'indice. Les points sont ici bien répartis sur l'espace et le coefficient de détermination est assez bon (95.07 %). Les mesures réalisées sur les 7 produits complémentaires permettent de confirmer cette hypothèse. La relation est moins bonne, mais l'équation de la relation est peu modifiée.

Dans la pratique, ceci signifie que plus un produit a un angle de talus par éboulement faible et plus son débit augmentera rapidement quand les indices d'extraction croissent.

Ainsi, un produit ayant un angle de talus élevé demandera, au moment de la programmation de l'automate, de prévoir des progressions d'indice d'extraction plus fortes. Inversement, un produit ayant un angle de talus faible est susceptible d'une évolution de débit rapide en fonction des indices d'extraction. Il faudra donc envisager des changements d'indice plus resserrés lors du passage d'un seuil à l'autre.

Une relation du même type existe également avec le plus petit diamètre d'écoulement (i'Tec_Q4) mais avec un coefficient de détermination plus faible sur la base des cinq produits de référence. L'introduction des produits complémentaires diffuse la relation en créant une autre équation et en diminuant le coefficient de détermination.

Toutefois, ce paramètre est intéressant, car physiquement, sa mesure a pour origine un phénomène similaire à celui opérant dans le cas des extracteurs lamellaires : l'ouverture d'une surface dessous une charge de produit.

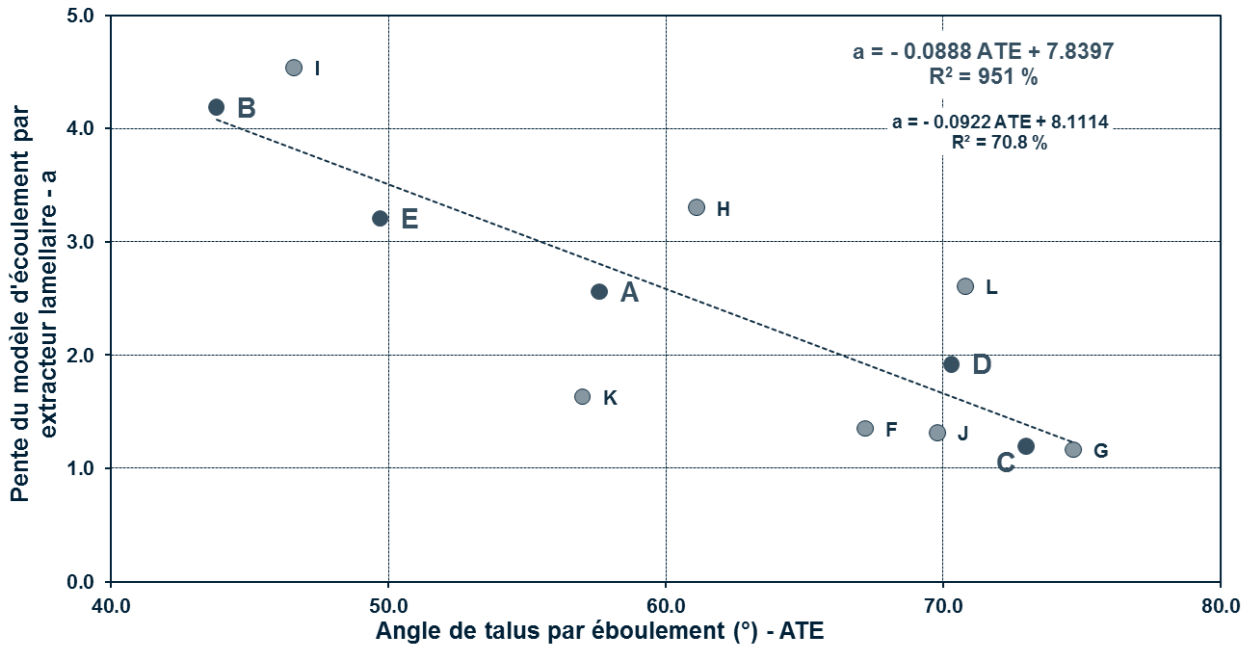


Figure 5 : Influence de l'angle de talus par éboulement sur la pente du modèle d'écoulement - a

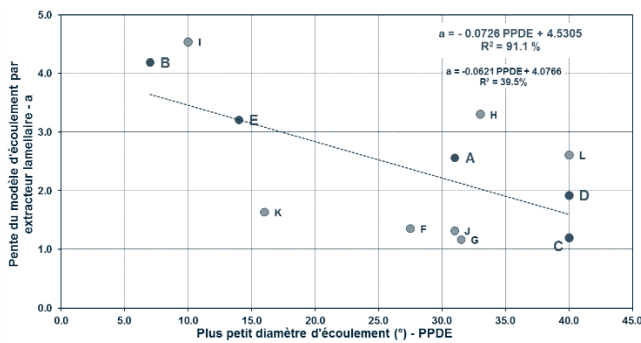


Figure 6 : Influence du plus petit diamètre d'écoulement sur la pente du modèle d'écoulement - a

3. Conclusion

Contrairement à ce qui était attendu, aucune caractéristique physique des poudres n'a permis d'expliquer la variation du débit mesurée à l'aide des coefficients de détermination.

Cette donnée industrielle ne peut donc être prédite pour l'instant.

Toutefois, plusieurs caractéristiques de laboratoires semblent permettre de prédire correctement les comportements constatés sur sites industriels :

- La masse volumique apparente contribue au départ de l'écoulement
- les indices d'écoulement, au premier titre desquels l'angle de talus par éboulement, permettent de prédire la progression du débit en fonction de la croissance des indices d'extraction.

Bibliographie

- i'Doc_Q5,1988. La prédiction du comportement technologique des additifs en milieu industriel
- i'Tec_Q9, 2004. Méthode de mesure de la masse volumique apparente, de la masse volumique tassée et de l'indice d'Hausner pour les additifs et les aliments.
- i'Tec_Q4 1998. Mesure du plus petit diamètre d'écoulement dans le domaine des additifs utilisés en alimentation animale.