

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

Pour maîtriser une opération de dosage, qu'il s'agisse d'additifs ou de matière première, les opérateurs peuvent vouloir prédire : le débit et la régularité de ce débit en fonction de la vitesse de la vis. Ces paramètres dépendent de la géométrie de la vis et de la liaison entre la cellule et la vis, mais également des caractéristiques physiques des produits dosés. Ces travaux veulent éclaircir l'effet du facteur produit sur la régularité des débits de dosage. Pour ce faire, un essai a été réalisé sur un site industriel disposant de systèmes cellules/vis identique conduisant à la même benne peseuse. Ces essais ont été réalisés avec 5 additifs de références possédant des caractéristiques physiques représentatives de l'ensemble des additifs classiquement utilisés en alimentation animale. Les caractéristiques physiques détaillées de ces produits ont été déterminées et comparées aux résultats des mesures industrielles.

1. Essais industriels

1.1. Objectif et Principe

L'objectif est donc d'étudier l'influence des caractéristiques physiques des produits et des indices d'extraction sur les débits et leur régularité.

Pour chacun des additifs, la précision du dosage est évaluée au moyen de la réalisation de 30 pesées de la quantité de produit écoulee pendant une même unité de temps.

1.2. Matériel

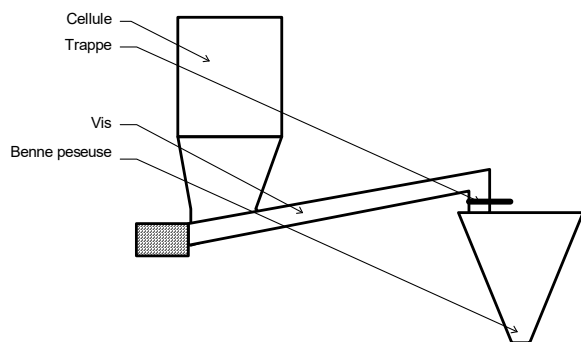


Figure 1 : Installation industrielle

Il s'agit de cinq cellules cylindriques à fond conique de 1.2 m de diamètre (Figure 1). Leur capacité maximum est de 2 m³. Le volume au-dessus du cône représente 68 % du volume total.

Les vis d'extraction ont un diamètre de 150 mm. Leur longueur totale est variable, mais la longueur ouverte dans les cellules est constante. En bout de vis, une trappe permet l'arrêt du flux dès l'arrêt de la vis. Un variateur de fréquence permet de modifier la vitesse de rotation des vis. Une temporisation permet de mettre en marche l'extracteur pendant un temps prédéterminé.

La benne peseuse a une portée maximum de 600 kg avec une précision de +/- 50 g (échelon de 100 g). La précision de la benne peseuse est bonne dès que la pesée dépasse 2 kilogrammes.

1.3. Méthode

3 vitesses d'extractions (V1, V2, V3) sont appliquées à 5 produits (A à E). L'organisation des essais permet de minimiser l'effet du taux de remplissage sur le comportement à l'écoulement des produits. La vitesse moyenne (V2) est fixée, afin que l'application de 3 fois cette vitesse à 90 reprises pendant 30 secondes conduise à une vidange maximum de 50% de la cellule. La vitesse inférieure (V1) est fixée à 50 % de la vitesse moyenne. La vitesse supérieure (V3) est fixée à 150 % de la vitesse moyenne.

La succession de vitesses testées après un seul remplissage est constituée par trois répétitions du cycle : 10 x V1, 10 x V2, 10 x V3 qui sont donc réalisées à trois niveaux de remplissage successif.

Le remplissage des cellules est réalisé le soir précédant les essais. Au début des essais, les produits ont donc passé au minimum 11 heures dans les cellules.

2. Résultats

Produits		A	B	C	D	E
V1	Débit kg/min	6.3	7.2	4.1	11.6	11.2
	ET	0.29	0.34	0.21	1.49	0.50
V2	Débit kg/min	12.0	14.1	7.8	23.5	23.0
	ET	0.20	0.51	0.21	1.71	1.05
V3	Débit kg/min	17.8	18.3	11.6	33.2	34.2
	ET	0.29	0.27	0.30	2.14	1.17
Pente (MP)		5.96	6.45	3.89	11.30	11.40
R ² (MR2)		99.5	94.4	99.2	95.5	99.0

Tableau 1 : Débit moyen et variation des débits en fonction des produits

Pour chaque vitesse et chaque produit, le débit moyen et l'écart-type de ce débit sont déterminés (Tableau 1).

Une évaluation globale du comportement du produit dans la gamme de vitesse testée est possible sous la forme de courbes d'évolution des débits en fonction de la vitesse de la vis.

L'application d'un modèle linéaire (type $Y = a X$) à ces évolutions semble être la meilleure hypothèse à retenir. Les pentes (a) (en kg/min/vitesse) et les coefficients de déterminations (R^2) issus de l'application de ces modèles sont donnés dans le Tableau 1. Ces deux critères renseignent sur le comportement général des produits (pente) et sur la fiabilité de ce comportement (R^2).

Dans les cas où des différences significatives existent entre des débits mesurés à la même vitesse de vis comme chez les produits A, B et E, les débits sont souvent plus faibles au début de la vidange (niveau 1) qu'aux niveaux suivants. Le produit D marque une singularité avec des débits significativement variables selon les niveaux pour les trois vitesses. Pour ce produit, les débits diminuent avec la baisse de la quantité de produit dans la cellule. Ce comportement explique la variation globale importante qui est constatée sur ce produit. L'inexistence de telles différences chez les autres produits singularise le produit D.

Pour quatre de cinq produits, l'évolution du débit suit une croissance linéaire en fonction de la vitesse de la vis. Pour le produit B, le passage de V2 à V3 se fait avec une rupture de pente avec l'obtention d'un débit moyen inférieur à celui attendu en regard de l'évolution V1/V2. Il semble alors que l'augmentation de vitesse se traduise par un remplissage plus faible de la vis.

Des différences significatives entre les débits des cinq produits existent à chaque niveau de vitesse à l'exception du V3 pour lequel deux produits ont des débits significativement identiques : A et B. Globalement, l'ordre des produits dans un ordre de débits décroissants est le suivant :

$$D > E > B \geq A > C$$

Pour les variations de débits (ET), il est difficile de

dégager une tendance générale : si les débits du produit D semblent toujours être très variables, essentiellement en raison du comportement différent selon les niveaux de vidange, par contre, les places suivantes sont disputées par les quatre autres produits indifféremment selon les niveaux de vitesse. Les coefficients de détermination globalisent un peu cette variation de débit. Toutefois, dans le cas du produit B, le mauvais coefficient semble lié à la dispersion des points autour de la droite, mais aussi à l'absence de linéarité.

Les pentes des droites de régression sont plus importantes et assez voisines pour les produits D et E. Celles des produits A et B sont proches, essentiellement en raison de la rupture de pente sur l'évolution du produit B. Le produit C a la pente la plus faible.

3. Relation avec les caractéristiques physiques des additifs

Les mesures industrielles permettent de déterminer les paramètres qui sont comparés aux caractéristiques physiques des additifs :

- MP ou VP : Pente des débits massiques et volumiques en fonction de la vitesse de vis donnant une image de l'évolution de la masse ou de volume collecté pendant une unité de temps en fonction de la vitesse de la vis
- MR2 : Coefficient de détermination des droites de régression linéaire des débits massiques en fonction de la vitesse de la vis donnant une image de la dispersion des points autour de la droite et correspondant à la chance (en pourcentage) d'obtenir un débit déterminé quand une vitesse de vis est choisie.
- MDn ou VDn : Débit massique ou volumique à la vitesse d'extraction V_n (n de 1 à 3).
- METn ou VETn : Ecart-type du débit massique ou volumique à la vitesse d'extraction V_n .
- MCVn ou VCVn : Coefficient de variation du débit massique ou volumique à la vitesse d'extraction V_n

Les données volumiques sont obtenues à partir des données massiques en divisant par la masse volumique tassée. Les comparaisons semblent mettre en évidence plusieurs influences : les masses volumiques, la granulométrie, les caractéristiques d'écoulement.

3.1. Masses volumiques

L'augmentation de la masse volumique tassée conduit bien à une augmentation du débit quelle que soit la vitesse de la vis (Figure 2). La relation a tendance à devenir un peu plus ferme quand la vitesse croît (amélioration du coefficient de détermination). La masse volumique apparente a le même impact, mais moins nettement.

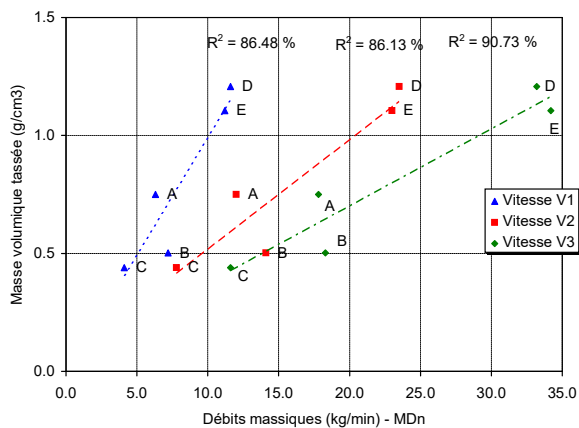


Figure 2 : Influence de la masse volumique tassée sur les débits massiques

Ces observations confirment donc la relation linéaire connue existant entre les masses volumiques des produits et l'évolution des débits. Elle justifie la nécessité d'exprimer ces débits en volumes plutôt qu'en masse, afin de mettre en évidence des effets d'autres caractéristiques.

La masse volumique a également une influence sur la variation du débit massique évalué par les écart-types (METn). L'effet principal semble alors être tenu par la masse volumique particulaire.

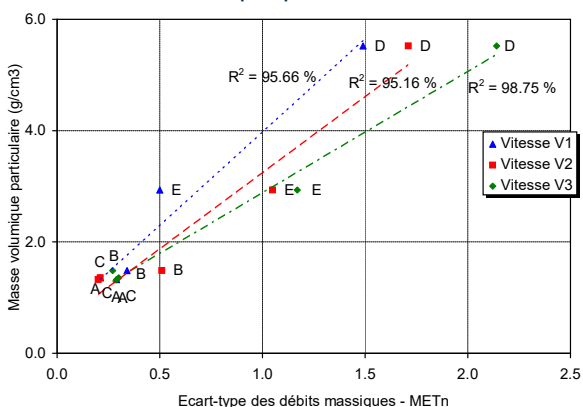


Figure 3 : Influence de la masse volumique particulaire sur les écart-types des débits massiques

Les relations semblent relativement linéaires, mais globalement construites par la présence des produits D et E éloignés du groupe des produits A, B et C (Figure 3). Il semblerait donc que plus un produit soit lourd, au niveau particulaire, et plus le débit ou la masse obtenus a de chance d'être éloigné de celui ou celle espéré. Dans la pratique, cela peut se comprendre par une **augmentation de l'écart moyen entre la quantité souhaitée et la quantité obtenue en proportion de la masse volumique particulaire**. En effet, un simple tour de vis supplémentaire a plus de conséquence sur la masse obtenue si le produit est lourd.

3.2. Granulométrie

L'effet de la granulométrie ne se fait sentir que par les diamètres évalués par l'analyse d'image (Figure

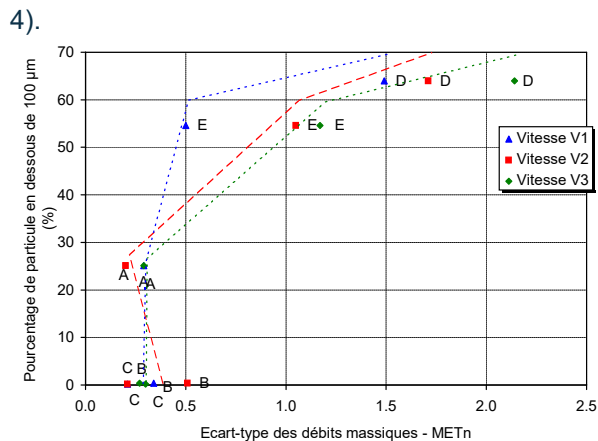


Figure 4 : Influence du pourcentage de particules en dessous de 100 µm sur les écart-types des débits massiques

Il y aurait un effet de la granulométrie sur la pente d'évolution du débit massique (MP). Toutefois, cette relation est fragile. En pratique, cette constatation signifierait qu'en dessous d'environ 100 à 200 µm, le débit massique augmente d'autant plus que la vitesse de la vis croît. Il est possible d'y trouver une explication dans un remplissage plus important de la vis quand les produits sont fins, mais cette hypothèse devrait être confirmée par d'autres essais avec des produits fins ayant des masses volumiques faibles.

L'augmentation du pourcentage de particules en dessous de 100 µm semble influencer plus nettement les écart-types des débits massiques (Figure 5). Il semblerait qu'au-dessus de 50 % de particules, l'écart-type augmente. Cette relation serait séduisante, car elle confirmerait les tendances trouvées dans la littérature d'une augmentation des problèmes d'écoulement, quand la granulométrie passe en dessous de 100 µm. Toutefois, comme dans le cas précédent, cette relation disparaît quand le débit est exprimé en volume, ce qui laisse supposer que **la masse volumique des produits les plus fins a plus d'effet que leur granulométrie**.

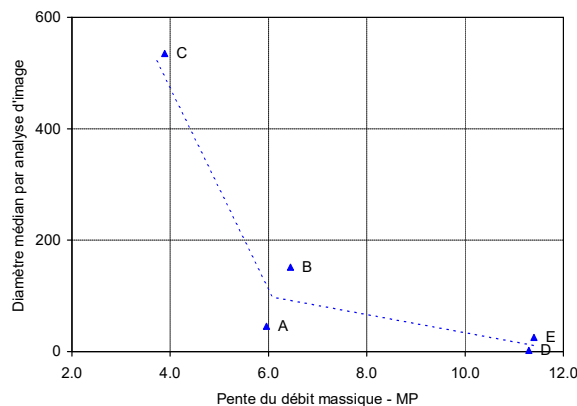


Figure 5 : Influence du diamètre des particules (Analyse d'image) sur la pente du débit massique

3.3. Caractéristiques d'écoulement

Leur influence apparaît en exprimant les données en débit volumique. Ainsi, le plus petit diamètre d'écoulement (i'Tec Q4) aurait une relation avec les débits volumiques (Figure 6) avec :

- un débit maximum quand cet indice est faible.
- un débit minimum pour un indice voisin de 30.
- une augmentation du débit quand le plus petit diamètre d'écoulement augmente au-delà de 30.

Ces relations sont assez nettes et semblables quelle que soit la vitesse de la vis. De plus, les produits D et E, les plus fins et les plus denses, ne sont pas proches, ce qui conforte l'indépendance de cet effet par rapport aux 2 effets précédents.

L'influence de l'indice d'Hausner (Voir i'Tec Q9, 2004) sur l'écart-type des débits est moins nette (Figure 7), car elle n'est pas homogène avec celle du plus petit diamètre d'écoulement et est essentiellement construite sur la base de la place du point D. Toutefois, elle semble indiquer un effet de cet indice d'écoulement dans le sens d'une augmentation de la variation de volume versé quand l'indice d'Hausner croît. Cet effet, séduisant car conforme aux attentes, devrait être confirmé par d'autres essais avec des produits ayant des indices intermédiaires entre 1.2 et 1.45.

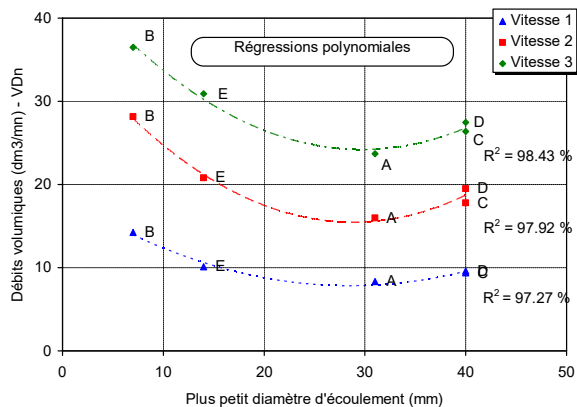


Figure 6 : Influence du plus petit diamètre d'écoulement sur les débits volumiques

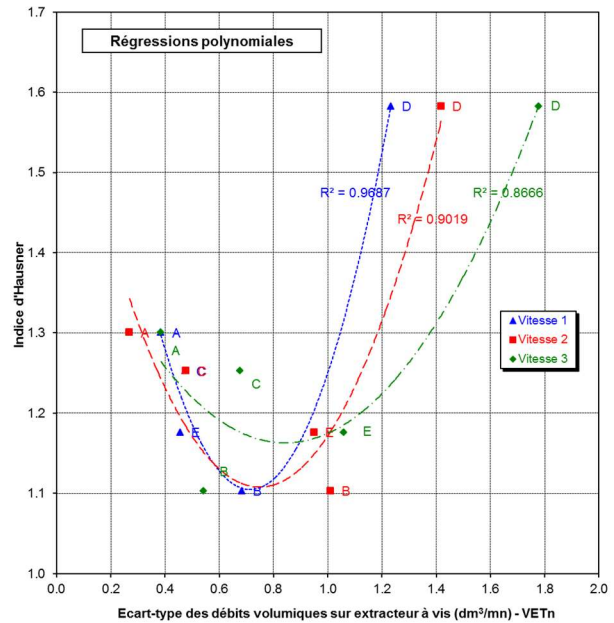


Figure 7 : Influence de l'indice d'Hausner sur l'écart-type des débits volumiques

4. Conclusion

L'effet de certaines caractéristiques physiques des produits déterminées au laboratoire semble assez clair et assez logique pour qu'elles puissent être déjà considérées comme de bons prédicteurs du comportement des produits lors d'un écoulement dans des extracteurs à vis.

Ainsi, la masse volumique tassée permet assez bien de prévoir les débits des produits en fonction du volume de la vis. L'accroissement de la masse volumique particulière semble favoriser l'erreur de pesée. Les mauvais indices d'écoulement défavorisent assez clairement les débits volumiques et leur régularité avec éventuellement présence de seuils.

Par contre, l'impact de la granulométrie n'est pas franchement démontré et des essais supplémentaires seraient nécessaires avec des produits fins et légers.

Bibliographie

- i'Doc_Q5. 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.