

Démélange des aliments sur des sites industriels

En 1999, des essais ont été réalisés afin de déterminer le domaine de variation des coefficients de variation des aliments jugés comme les plus hétérogènes du marché : les aliments pour poules pondeuses (i'doc_H2). A l'époque, l'homogénéité des aliments n'avait été étudiée qu'à la sortie de l'usine. Aucun lien n'avait pu alors être établi entre les coefficients de variation et les caractéristiques des aliments et des installations de ces essais. L'objectif de cette étude est d'évaluer si, lors de la fabrication d'aliments sous forme de farine dans six usines différentes, ceux-ci se démangent entre la sortie du mélangeur (SM) et la sortie de l'usine (SU) et d'identifier les paramètres physiques ou industriels pouvant expliquer l'apparition d'un démélange.

1. Matériel

Le Tableau 1 indique la liste de l'équipement présent entre les deux points de prélèvement dans chacune des usines.

Équipement	Usines					
	1	2	3	4	5	6
Transporteur à chaînes				X		
Élévateur	X	X	X	X	X	X
Transporteur à chaînes					X	
Boîte 2 D				X		
Revolver	X	X	X	X	X	X
Transporteur à chaînes		X	X		X	
Revolver					X	
Transporteur à chaînes		X				
Boîte 2 D						X
Cellule	X	X	X	X	X	X
Vis d'extraction		X	X			X
Transporteur à chaînes	X		X		X	

Tableau 1 : Liste de l'équipement constituant les circuits des 6 usines étudiées entre les deux points de prélèvement

Le traceur employé dans chaque usine est le microtraceur RF bleu lake. Il est incorporé dans les mélanges au moyen de prémélanges introduits à des taux variables (de 5 à 10 kg/t) selon les usines, mais la concentration finale ciblée est de 250 ppm.

Les caractéristiques des aliments utilisés lors de ces essais (Tableau 2) montrent que deux espèces sont représentées, mais que cela n'empêche pas une certaine variabilité notamment en matière de

granulométrie. Par contre, les masses volumiques ou les angles de talus varient peu.

Usines	1	2	3	4	5	6
Nature	Porc	Porc	Canard	Canard	Porc	Canard
Liquides (%)	0.77	0.02	0.41	0.22	0.44	1.3
Quantité (t)	2.2	4.4	4.0	2.0	5.0	2.5
D50 (µm)	645	489	397	584	561	896
Écart-type géométrique	2.15	2.14	1.96	2.18	2.19	2.27
M.V. apparente (g/dm ³)	504.5	634.0	588.2	652.7	588.3	609.5
Angle de talus (°)	55.8	53.3	52.7	54.2	49.8	51.5
Indice d'élutriation	187.1	151.9	147.0	172.9	178.4	188.6

Tableau 2 : Caractéristiques physiques des aliments testés

2. Méthode

Les prémélanges contenant le traceur sont incorporés dans l'aliment par le circuit traditionnel de l'usine, sauf pour l'usine 5 où il est introduit directement dans le mélangeur.

Le premier lieu de prélèvement est un point situé au plus près du mélangeur : sortie du transporteur sous mélangeur.

Le second lieu de prélèvement est effectué en sortie d'usine, au moment du chargement dans un camion. D'un prélèvement à l'autre, le flux est coupé dans des sens différents. Le nombre d'échantillons ciblé est de 30. Cependant, il est variable dans chaque usine et à chaque lieu de prélèvement.

Au laboratoire, dans la majorité des essais, un échantillon sur deux est divisé en deux avec un diviseur à rifles, puis chacun des sous échantillons est analysé. Dans les usines 1 et 4, tous les échantillons prélevés en sortie d'usine le sont. Dans les cas où beaucoup de prélèvements ont été réalisés, un échantillon sur trois est traité.

Le microtraceur est analysé dans les échantillons prélevés en usine et dans les échantillons après le test d'élutriation selon le protocole décrit dans i'Tec_H17.

Le test d'élutriation est effectué sur un échantillon moyen d'aliment selon le protocole défini dans i'Tec_H8.

Les résultats des analyses du microtraceur en chaque lieu sont traités par une analyse de variance selon un modèle aléatoire.

Le démélange est exprimé au moyen de la variation des CV_{homogénéité} entre la sortie d'usine et la sortie du mélangeur : une variation positive signale alors l'existence d'un démélange.

3. Résultats

Usines	Sortie mélangeur	Sortie usine	Variation
1	3.4	11.6	+ 8.2 %
2	4.0	5.1	+ 1.0 %
3	2.4	2.6	+ 0.2 %
4	5.7	8.3	+ 2.6 %
5	9.5	13.2	+ 3.7 %
6	16.0	18.0	+ 2.1 %

Tableau 3 : Bilan des 6 essais en termes de CV_{homogénéité} de la variation de ces coefficients de variation

Le bilan de ces essais en termes d'évolution des CV_{homogénéité} entre les deux lieux de prélèvement fait apparaître une augmentation systématique (Tableau 3).

Cependant, dans quatre cas sur six, cette progression est assez faible. L'évolution moyenne est donc de 3 %, c'est-à-dire du même ordre que celle qui a été constatée par l'IFF (1982), il y a plus de 20 ans, sur des CV_{total} : + 2.0 %. Le retrait du résultat de l'usine 1, qui pèse lourd dans la moyenne, conduit à une nouvelle moyenne de 1.9 %.

3.1. Relation entre caractéristiques physiques et comportementales

La détermination des indices d'élutriation a montré qu'il existait une certaine relation entre cet indice et les caractéristiques granulométriques des matrices testées. Il semblerait ainsi, en toute logique avec ce qui est connu du comportement des poudres, que plus la matrice est grossière et plus son spectre granulométrique est dispersé et plus le microtraceur se désolidarise de celle-ci (Figure 1).

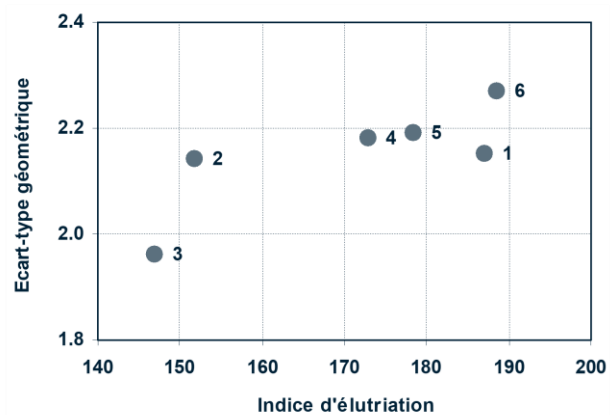
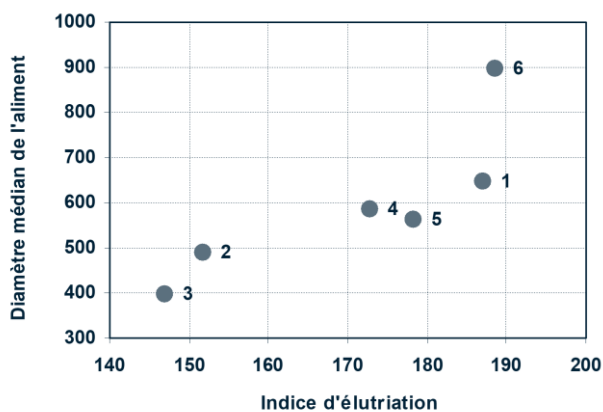


Figure 1 : Relation entre l'indice d'élutriation du microtraceur RF bleu lake et le diamètre médian de l'aliment (gauche) ou l'écart type géométrique de l'aliment (Droite)

3.2. Homogénéité en sortie de mélangeur

Aucune relation n'est apparue entre cette donnée industrielle et l'angle de talus ou la masse volumique apparente de l'aliment. Par contre, une tendance se dessine avec le diamètre médian de l'aliment. Celle-ci est légèrement confortée par d'autres résultats industriels obtenus antérieurement (Figure 2). Il apparaît ainsi que l'acquisition d'une bonne homogénéité au cours du mélange serait, pour une part, facilitée par une faible granulométrie de l'aliment. Ceci ne serait pas illogique dans la mesure où la diminution de la granulométrie de l'aliment rapprocherait celle-ci de celle des additifs distribués en son sein.

Une relation encore plus nette, et largement confirmée par d'autres essais industriels, apparaît avec l'écart type géométrique, image de l'étendue du spectre granulométrique (Figure 3). Seuls 4 résultats

d'essais sur 12 s'éloignent quelque peu du schéma selon lequel l'homogénéité du spectre granulométrique de la matrice (écart type faible) contribuerait à l'homogénéité finale du mélange.

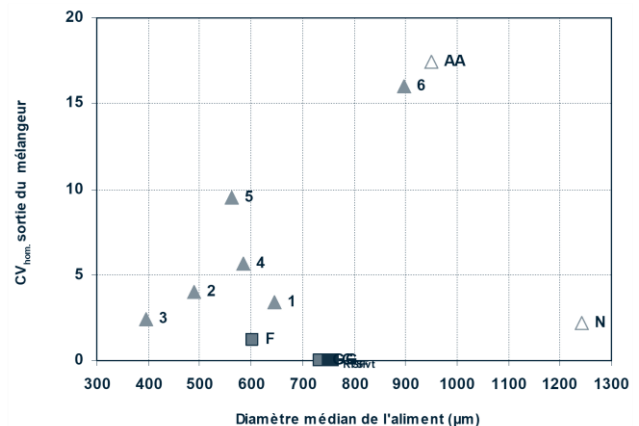


Figure 2 : Relation entre le CV homogénéité en sortie de mélangeur et le diamètre médian de l'aliment

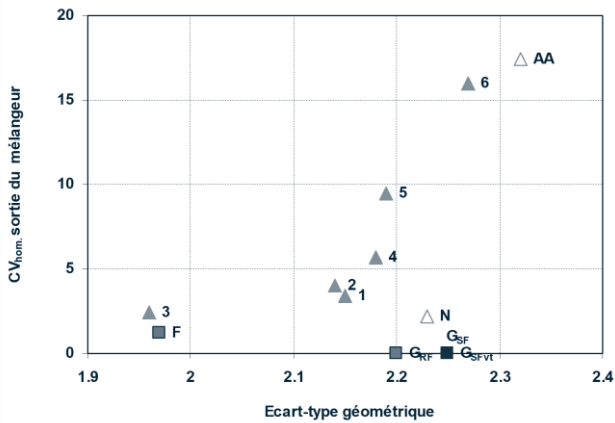


Figure 3 : Relation entre le CV homogénéité en sortie de mélangeur et l'écart type géométrique de l'aliment

De plus, une relation assez linéaire apparaît à l'aide de 5 points sur 6 entre l'indice d'élu-triation et le CV_{homogénéité} en sortie de mélangeur (Figure 4). Ce résultat est logique à la vue de la relation dressée entre cet indice et les données granulométriques de la matrice (Voir Figure 1). Il est difficile de savoir si le comportement de séparation par élutriation est à l'origine de ce défaut d'homogénéité à l'issue du mélange et quelle part y joue alors la répartition granulométrique de la matrice. Cependant, la mesure du comportement d'élutriation n'est pas sans relation avec la possibilité d'un dé-mélange dans le mélangeur sous l'action d'un effet de trajectoire (Voir i'Tec_H9).

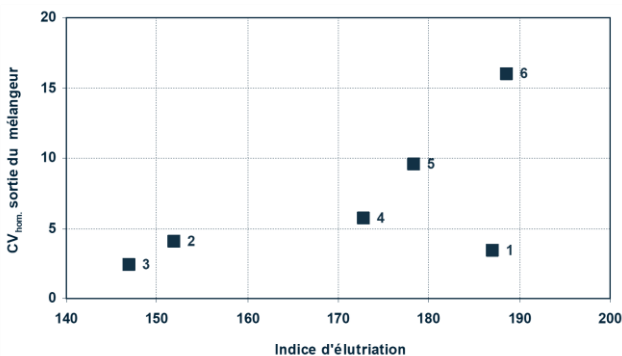


Figure 4 : Relation entre le CV homogénéité en sortie de mélangeur et l'indice d'élutriation de l'aliment

3.3. Démélange

Aucune relation n'est mise en évidence avec la masse volumique apparente montrant que la différence de masse volumique qui existe entre le microtraceur et l'aliment ne semble pas être un élément pertinent expliquant son comportement à la dispersion.

Par contre, une relation est apparue entre la différence des CV_{homogénéité} et le diamètre médian de l'aliment. Ainsi, la Figure 5 met en évidence une augmentation du dé-mélange quand le diamètre

médian s'accroît. Seul le résultat de l'usine 6, dont l'aliment contenait du blé incorporé en l'état, s'écarte de la relation apparente.

A l'instar de ce qui a été observé dans le mélangeur, une relation avec l'étalement du spectre granulométrique apprécié par la grandeur de l'écart type géométrique a été recherchée, mais le graphique élaboré dans cet objectif n'a pas mis en évidence une telle relation.

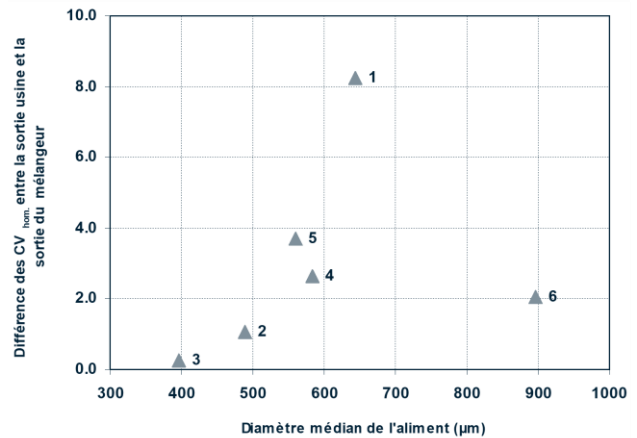


Figure 5 : Relations entre le diamètre médian de l'aliment et la différence des CV_{homogénéité} pour les 6 essais

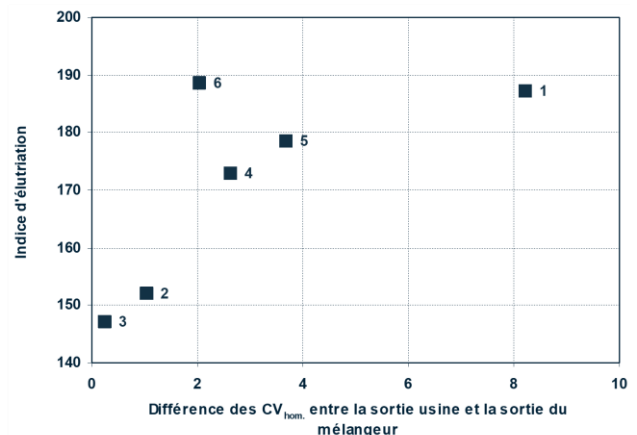


Figure 6 : Relation entre l'indice d'élutriation de l'aliment et la différence des CV_{homogénéité} pour les 6 essais

En revanche, une relation paraît se dresser entre l'évaluation de l'élutriation au laboratoire et l'évolution des CV_{homogénéité} dans les usines (Figure 6).

L'écartement de l'aliment 6 du modèle général installé par les autres résultats a paru digne d'intérêt. Selon ce modèle, la mesure d'élutriation réalisée sur l'aliment 6 conduirait à prédire un risque de dé-mélange. Dans l'esprit de la remarque faite précédemment sur la présence de grains de blé en l'état, un retrait de cette fraction granulométrique a été effectué par un tamisage à 2 mm, suivi d'un nouvel essai d'élutriation sur la fraction inférieure.

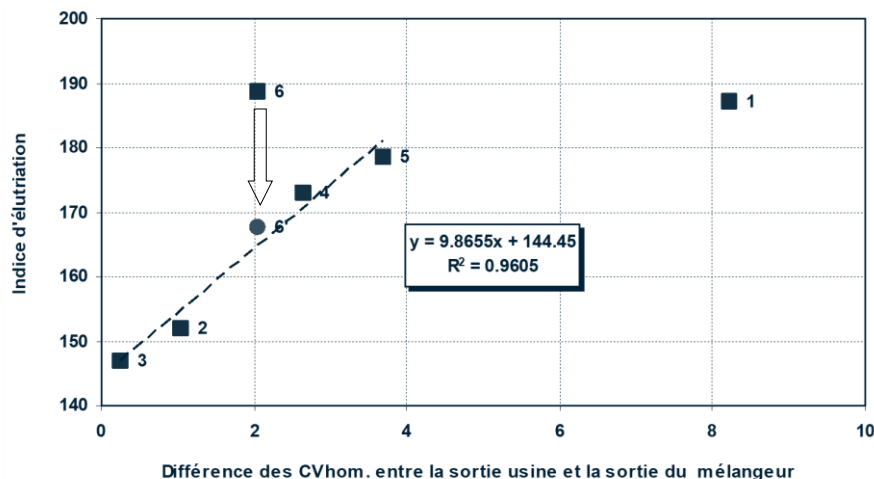


Figure 7 : Relation entre l'indice d'élutriation de l'aliment et la différence des CV homogénéité pour les 6 essais après tamisage et nouvelle mesure de l'indice d'élutriation sur l'aliment 6

A l'issue de cette manipulation, une migration du point de l'aliment 6 a été constatée (Figure 7), ce qui le place exactement dans le sens de la relation précédemment installée par les autres aliments. Il semble alors qu'une relation linéaire de très bonne qualité ($R^2 = 0.9605$) existe entre l'indice d'élutriation (inférieur à 180 pour le microtraceur RF bleu lake) et la variation du CV homogénéité. Cette relation s'infléchit ensuite aux abords du maximum de 200 généré par la méthode.

4. Conclusion

Ces essais industriels ont permis de mettre en évidence l'existence effective d'un démélange entre la sortie du mélangeur et le chargement sur tous les sites. Par contre, ce démélange peut être jugé ici comme raisonnable dans 5 cas sur 6. La moyenne de l'augmentation de coefficient de variation s'établit à 3 % et à 1.9 % si le site 1 est jugé comme non acceptable. Cette moyenne est comparable à celle de +2.0% qui a été observée par l'IFF (1982) sur plus de 150 usines et sur la base de CV_{total} établi avec la méthode au violet de méthyle.

Aucun paramètre industriel n'a permis d'expliquer ce démélange, par contre, l'homogénéité en sortie de mélangeur semble déjà influencée par le spectre granulométrique de l'aliment. Cet effet se fait également sentir sur l'augmentation du coefficient de variation au cours du démélange.

Il est possible qu'une combinaison faible débit d'élévateur/spectre granulométrique grossier favorise le démélange conformément à des observations antérieures effectuées par Jansen et Friedrich (1982) mais, ce constat fait sur la base d'une seule usine, ne peut avoir qu'un impact limité en l'absence d'autres résultats d'essais.

L'effet de la granulométrie et de sa répartition se font également ressentir au travers de l'indice d'élutriation qui s'avère, à l'issue de ces essais, un bon candidat pour la prédiction du comportement de démélange d'un produit au niveau industriel.

5. Bibliographie

- i'doc_T7: Résultats d'essais industriels sur l'homogénéité et les contaminations croisées
- i'Tec_H9 : Homogénéisation des aliments composés : Définitions. Mai 2003.
- I.F.F., 1982. Einfluss der physikalischen stoffeigenschaften am beispiel spurenelemente auf die mischgüte und anforderungen an verarbeitungsanlagen beim einsatz von mikrokomponenten im mischfutter. Bull. Inf. n° 183, 10-26
- Jansen H.D., Friedrich W., 1982. Entmischungen beim fordern von ungeprebterm mischfutter. Die Muhle + Mischfuttertechnik, 119, 9, 111-116