

Mots-clés : Mélange, Temps de mélange, Homogénéisation, Contrôle, Qualité.

Effet du temps de mélange Travaux de Tecaliman

1. Introduction

L'évolution théorique de la répartition d'un produit en fonction du temps de mélange est une donnée connue (Figure 1). L'hétérogénéité diminue rapidement (Phase A), oscille pour atteindre un minimum (Phase B) et se détériore éventuellement selon les mélangeurs et les produits mélangés (Phase C).

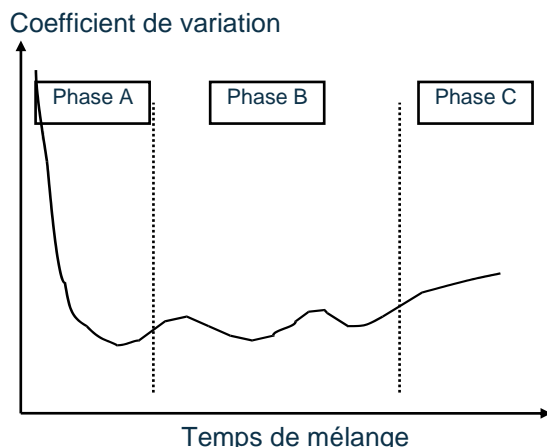


Figure 1 : Effet théorique du temps de mélange sur l'hétérogénéité

La durée respective des phases et les amplitudes de variations dépendent du mélangeur et des produits utilisés. Il est donc essentiel de disposer de données concernant son propre mode d'utilisation du mélangeur.

De plus, le temps de mélange n'est pas une donnée réellement exploitable, si la vitesse du mobile n'est pas indiquée. Or, cette donnée figure rarement sur les publications disponibles. Ainsi, les temps de mélange conseillés sont souvent très variables pour un même type de mélangeur.

De plus, dans des conditions standards de fonctionnement du mélangeur et pour des produits donnés, la durée de mélange appliquée à la distribution d'un produit devrait être celle comprise entre son introduction dans le mélangeur et la vidange totale de celui-ci. Cependant, la mesure d'une durée de mélange effectivement appliquée

se heurte à des difficultés pratiques dont il faut tenir compte avant toute interprétation sur ce sujet :

Si le produit tracé est introduit en amont du mélangeur, le moment exact de son entrée dans le mélangeur marquant le début théorique de sa dispersion est difficile à déterminer

Si le produit tracé est introduit au début du remplissage du mélangeur, et que le temps de remplissage du mélangeur avec les macro-ingrédients restant à doser est très long, le début de la dispersion est également difficile à déterminer.

Si des liquides sont introduits dans le mélangeur, il n'existe plus une seule durée de mélange mais une succession de phases. La durée du mélange peut alors être soit celle de la totalité des phases, soit celle du mélange à sec, soit celle du mélange après introduction des liquides.

La mesure des durées des phases de mélanges peut être faite au moyen des messages envoyés par l'automate. Il convient alors de prendre en compte qu'il peut exister des décalages entre la réalité et les messages reçus, et que les messages dépendent de la position des capteurs.

Si le mélangeur n'est pas à ouverture totale, une fraction du mélange continue à être mélangée pendant la durée de vidange, il est alors difficile de déterminer avec précision la fin du mélange.

Par ailleurs, de nombreux paramètres paraissent intervenir sur la durée nécessaire du mélange pour obtenir la qualité souhaitée (différence entre des traceurs, taux d'incorporation, vitesse de rotation du mobile, lieu d'incorporation des traceurs, ...).

L'augmentation de la durée du mélange constitue souvent la mesure corrective la plus commune face à la variation d'un paramètre. Cependant, elle ne constitue pas une panacée, et cette augmentation peut n'avoir aucun effet par exemple, en cas de taux de remplissage trop élevés ou lors de la distribution d'un produit de trop grosse granulométrie présent en un trop faible nombre de particules.

2. Essais pilotes

Un résumé des conditions de réalisation des essais pilotes est donné dans le Tableau 1.

2.1. Mélangeur vertical à bras mobile

L'Essai n° 1 d'étude du mélange dans un mélangeur vertical à bras mobile selon un mouvement planétaire de marque Hobart a permis de suivre l'évolution de la répartition de particules de fer colorées (microtraceur F) de 300 µm après 1, 2.5, 5, 7.5 et 60 minutes de mélange. Il paraît démontrer l'existence d'une oscillation puis d'un démélange dans ce type de mélangeur au cours du temps (Figure 2), car même si les résultats dans la partie basse de la courbe sont en dessous de la résolution de l'analyse (points vides), le démélange apparaît de façon significative pour une durée de mélange d'une heure.

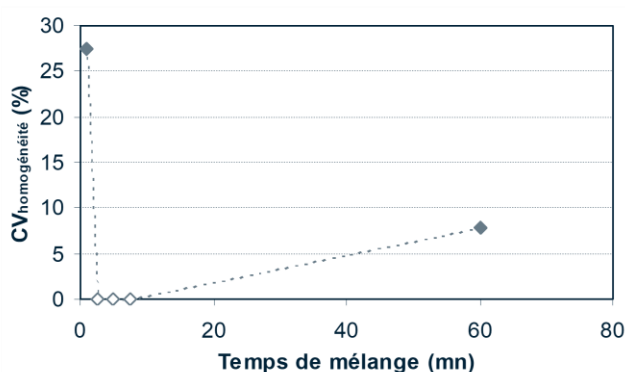


Figure 2 : Evolution des coefficients de variation de la répartition du microtraceur F rouge en fonction de la durée du mélange dans un mélangeur vertical à bras mobile – Essai n° 1

2.2. Mélangeur à soc

Quatre évolutions de distribution ont été suivies en fonction du temps dans un mélangeur à soc pilote de marque Lödige (**Essai n° 2**). Les résultats obtenus, concernant la fabrication de mélanges assimilables à des prémélanges sur bases minérales (Figure 3), montrent que, dans les conditions d'essais, des homogénéités stables n'ont pu être obtenues qu'après des durées de mélange de 10 minutes. Ces durées assez longues ont été surprenantes et peuvent être expliquées par un taux de remplissage trop élevé et par la trop grande rapidité du mobile qui pourrait centrifuger la masse de produit et limiterait ainsi l'efficacité du mélange.

Il convient de remarquer que la position des seuils des courbes est en relation avec la granulométrie et les taux d'incorporation des traceurs, ce qui souligne l'effet probable du nombre de particules sans pour cela oublier l'effet des matrices correspondantes.

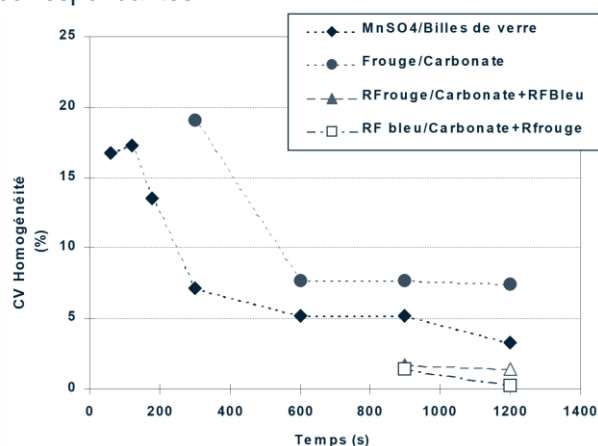


Figure 3 : Evolution du CV_{homogénéité} de la répartition de traceurs dans différentes matrices en fonction du temps de mélange dans un mélangeur à socs–

	Essai n° 1	Essai n° 2	Essai n° 3
Type de mélangeur	Batteur mélangeur Hobart de 27.5 litres	Mélangeur à soc Lödige de 50 litres	Mélangeur à rubans Gondard de 224 litres
Matrices	Aliment porc (400 µm)	Bille de verre (260 µm) ou carbonate (140 µm)	2 Aliments bovins F et G (280 µm – 460 µm)
Type de traceur, Granulométrie et taux d'incorporation	Microtraceur F rouge (300 µm- 1000 ppm)	Sulfate de manganèse (65 µm – 37 ppm) – microtraceurs F (306 µm – 1000 ppm) ou Rf (90 µm – 1000 ppm)	Microtraceur RF bleu (90 µm- 250 ppm)

Tableau 1 : Conditions des essais pilotes

2.3. Mélangeur à rubans

Dans la première partie de l'Essai n° 3, un mélange différent (5 au total) est fabriqué pour chaque durée et les prélèvements sont faits après vidange. Dans la seconde partie (avec l'aliment bovin le plus gros), les prélèvements sont effectués par le dessus du

mélangeur et, la quantité prélevée est remplacée par une masse similaire d'un mélange identique préalablement homogénéisé pendant 5 minutes.

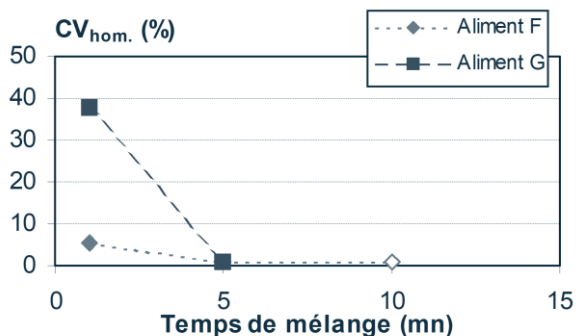


Figure 4 : Evolution des $CV_{\text{homogénéité}}$ en fonction du temps de mélange de deux aliments bovins de granulométries différentes ()

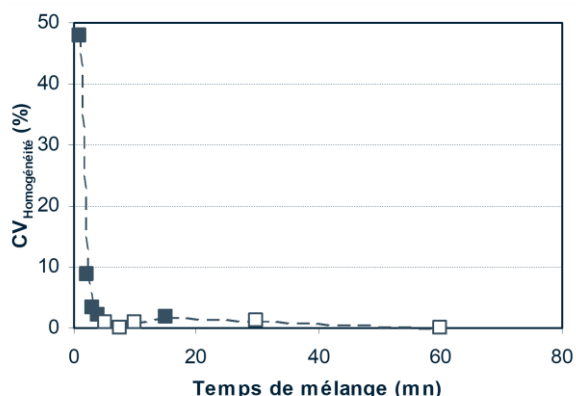


Figure 5 : Evolution des $CV_{\text{homogénéité}}$ en fonction du temps de mélange d'un aliment bovin G

Les premiers résultats (Figure 4) mettent en évidence la plus grande rapidité de la dispersion dans l'aliment le plus fin, ce qui est en apparence contradiction avec la théorie qui veut que le mélange est moins rapide dans les mélanges cohésifs. Ce résultat mériterait d'être vérifié par d'autres essais même si un résultat de ce type a également été obtenu par Amornthewaphat *et al* (1998).

Les seconds résultats montrent l'évolution du coefficient de variation avec une rapide décroissance dans les deux premières minutes (Figure 5), puis une stagnation et une très légère oscillation à la limite de la perception du mode d'évaluation. Ainsi, dans ces conditions d'essai, aucun démélange significatif n'a lieu après une heure. D'autres essais de ce type seraient également nécessaires afin de confirmer ce résultat qui est en contradiction avec la théorie générale qui veut qu'un démélange se produise au cours du temps.

3. Essais industriels

Les conditions de réalisation des essais industriels sont données dans le Tableau 2.

3.1. Mélangeur en auge à rubans

Un seul essai a été réalisé sur un mélangeur en auge industriel. Les mélanges de l'Essai n° 4 portent sur des lots de 3 tonnes d'aliments porcelets dans lesquels trois traceurs sont incorporés et chaque évaluation est indépendante des autres.

	Essai n° 4	Essai n° 5	Essai n° 6
Type de mélangeur	Auge à rubans de 12000 litres	Cylindrique à rubans de 18000 litres	Cylindrique à rubans de 12000 litres
Vitesse de rotation	17 tr/mn	15 tr/mn	15 tr/mn
Matrices	Aliment porcelet (600 g/l - 500 μm)	Aliment porcelet (610 g/l - 560 μm)	Tx soja - Tx colza (590 g/l - 660 μm)
Type de traceur	Sulfate de cuivre (330 μm - 600 ppm)	Chlorure de sodium (466 μm - 4000 ppm)	Microtraceur RF (90 μm - 125 ppm)
Granulométrie et taux d'incorporation	Microtraceur F (300 μm - 500 ppm) Diméridazole (360 μm - 1000 ppm)		

Tableau 2 : Données du protocole des essais industriels

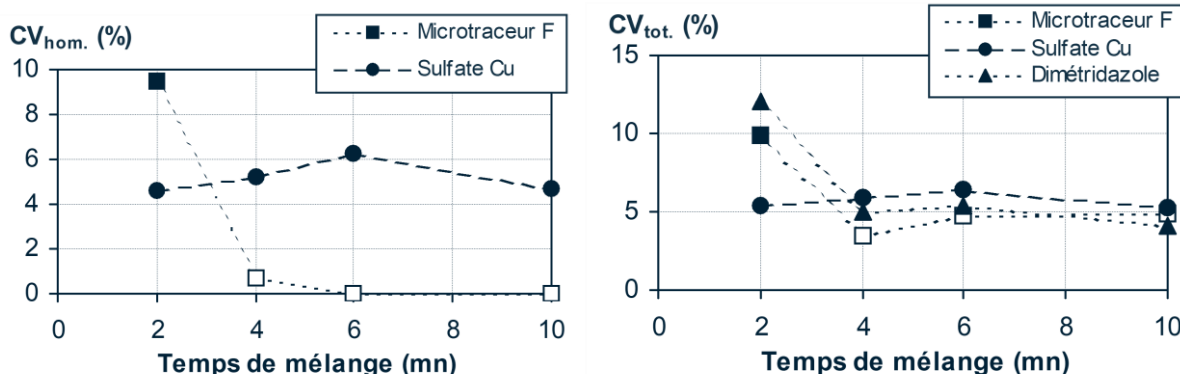


Figure 6 : Evolution des $CV_{\text{homogénéité}}$ (à gauche) et CV_{total} (à droite) en fonction du temps de mélange dans un mélangeur industriel en auge de 12000 litres de l'Essai n° 4

Les résultats (Figure 6) obtenus avec deux des trois traceurs (DMZ et microtraceur) sont en accord sur le début de la phase décroissante après un mélange de 4 minutes, soit 68 tours de mobile.

Les CV_{total} sont alors voisins de 5 %. L'évolution de la distribution du sulfate de cuivre semble différente de celle des 2 autres traceurs. Il est possible que la phase de décroissance du coefficient de variation soit plus courte pour ce traceur et qu'elle ait eu lieu avant 2 minutes. Dans le cas du microtraceur F, le $CV_{homogénéité}$ est inférieur à 1 % après 4 minutes et la méthode d'évaluation est alors, et reste ensuite, en-dessous de sa limite de perception.

3.2. Mélangeurs cylindriques à rubans

Deux essais (Essai n° 5 et Essai n° 6) sur deux mélangeurs industriels cylindriques de capacités différentes ont été effectués.

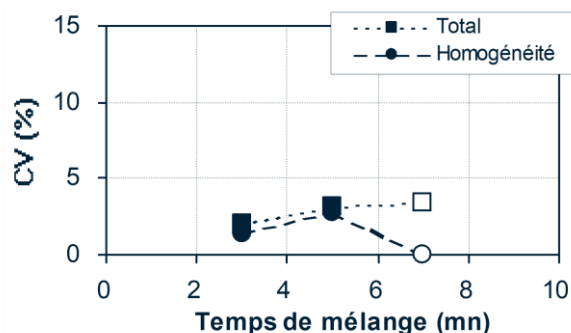


Figure 7 : Evolution des $CV_{homogénéité}$ et CV_{total} (en bas) en fonction du temps de mélange dans le mélangeur industriel cylindrique de 18000 litres de l'Essai n° 5

Pour l'Essai n° 5, l'analyse des chlorures semble indiquer que des coefficients faibles peuvent être obtenus sur des temps de 3 à 7 minutes (Figure 7). Le $CV_{homogénéité}$ augmente légèrement pour 5 minutes, mais en restant largement en dessous des 10 %. Ces résultats tendent à prouver l'efficacité de ce type de mélangeur dès 3 minutes de mélange.

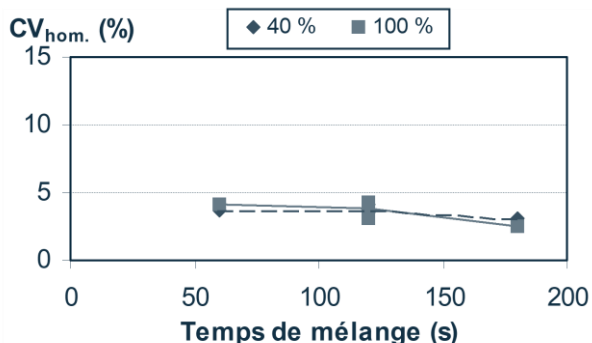


Figure 8 : Evolution des $CV_{homogénéité}$ en fonction du temps de mélange dans le mélangeur industrielle cylindrique de 12000 litres de l'Essai n° 6

L'Essai n° 6 réalisé sur le mélangeur de 12000 litres porte sur des temps de mélange beaucoup plus courts (1 à 3 minutes) et sur deux taux de remplissage (40% et 100%). Pour chacun des taux de remplissage, 3 répétitions ont été réalisées pour la durée de mélange de 2 minutes. Les coefficients de variations déterminés lors des répétitions sont très proches (Figure 8). Aux deux taux de remplissage, les $CV_{homogénéité}$ sont de l'ordre de 3 à 4 % et diminuent très légèrement. Ces résultats confirment que des coefficients inférieurs à 5 % peuvent être obtenus rapidement avec ce type de mélangeur, quel que soit le taux de remplissage.

4. Conclusions

Ainsi, en mélangeur en auge, les résultats de l'essai industriel sont en accord avec les données classiquement répandues d'un temps de mélange de 4 minutes correspondant à un nombre de tours voisin de 70 (après incorporation de liquides). Cependant, il est possible qu'un bon résultat soit déjà obtenu avec 3 minutes. Cette évaluation n'a pas été effectuée en industriel, mais les résultats pilotes sont encourageants. Les résultats industriels montrent également que le choix du traceur doit être judicieux, car la vision qui est portée sur les performances du mélangeur en dépend.

Les mélangeurs cylindriques paraissent plus performantes, car ils permettraient l'obtention de mélanges homogènes plus rapidement : environ 1 minute.

Le nombre de résultats réellement exploitables étant faible, il paraît dangereux d'extrapoler, mais il est possible que les temps réellement nécessaires à l'homogénéisation soient inférieurs à 4 minutes ou à 60 tours de mobiles pour certains mélangeurs. En effet, il convient de souligner que dans très peu d'essais, la phase de décroissance de l'homogénéité a été observée, ce qui ne permet pas de connaître sa position réelle.

Ceci met en évidence la difficulté qu'il y a à déterminer le temps de mélange minimum. L'acquisition de la valeur seuil de qualité du mélange accessible avec un traceur et une matrice constitue le véritable l'objectif du mélangeur et non pas celle d'une homogénéité donnée identique pour tous les produits.

Enfin, la plus grande rapidité du mélange dans une matrice fine et l'absence de démixage lors d'un temps trop long ne sont pas totalement certains et d'autres essais seraient nécessaires.

5. Bibliographie

Amornthewaphat N., Behnke K.C., Hancock J.D., 1998. Effects of particle size and mixing time on uniformity and segregation in pig diets. Kansas state university swine day report, 261-263.