

## Etude pilote sur les transferts inter-lots des micro-ingrédients au niveau d'un élévateur à godets : Résultats globaux

### 1. Objectif

L'objectif de cette étude est d'évaluer le rôle de l'élévateur à godets dans la génération de transferts inter-lots.

### 2. Matériels et méthodes

La station pilote, l'élaboration du produit de référence et le protocole expérimental sont décrits dans i'Tec\_T12.

### 3. Résultats et discussion

Avant d'exposer les résultats, il est important de noter que les notations A, B et C font référence aux trois essais de répétabilité et les numérotations de 1 à 16 concernent les essais d'un plan d'expériences stimulant l'effet de facteurs de procédé dont les résultats seront étudiés en détail dans une fiche ultérieure.

#### 3.1. Concentration des lots après passage dans l'élévateur

Les lots traceurs sont introduits à une concentration initiale de 250 ppm. Après leur passage dans l'élévateur à godets, la concentration initiale en traceur diminue. Cette diminution varie de 17,1 à 62,2 ppm selon les conditions. Ainsi, la concentration moyenne des lots traceurs, après essais, est de 205,3 ppm soit 82 % de la concentration initiale et celle des lots collecteurs de 19,9 ppm (Figure 2 et Figure 3).

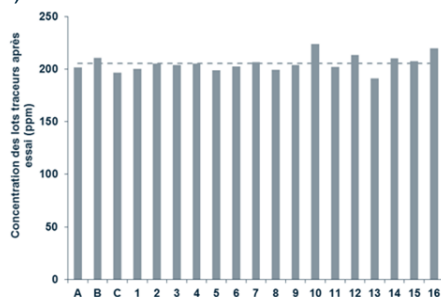


Figure 1 : Concentrations des lots traceurs

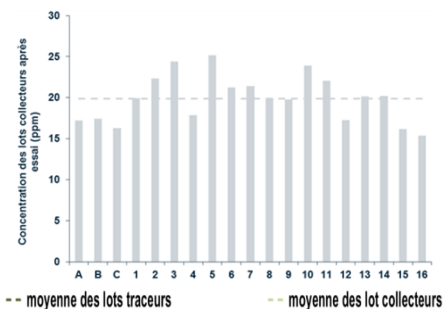


Figure 2 : Concentrations des lots collecteurs

Ces valeurs illustrent clairement les deux phases du phénomène de transfert inter-lots. Celui-ci se traduit par le dépôt de micro-ingrédients lors du passage du lot traceur puis leur récupération partielle (en moyenne  $\approx 45\%$  sur cette base) pendant le passage du lot collecteur. De plus, la concentration des lots traceurs présente une dispersion relative moins importante que la concentration des lots collecteurs. Ainsi, les différents paramètres modulables dans l'élévateur ont un impact principalement sur la quantité de traceur collectée.

#### 3.2. Masses de produit déposées dans l'élévateur

L'étude globale des masses de dépôts restées dans la station après le passage des lots met en évidence une augmentation de la quantité de dépôt avec le nombre de charges transférées (Figure 3). Ainsi, une augmentation de la masse de 255g environ est observée entre les essais "traceur" et "traceur + collecteur".

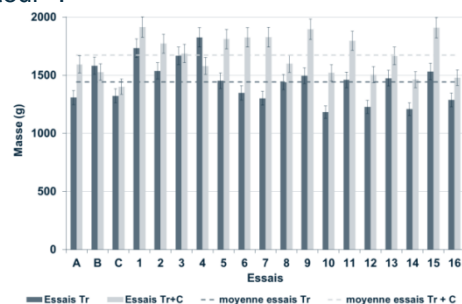


Figure 3 : Masses totales des dépôts dans l'élévateur après essais

Cette différence est validée statistiquement par une comparaison analytique des moyennes (Tableau 1).

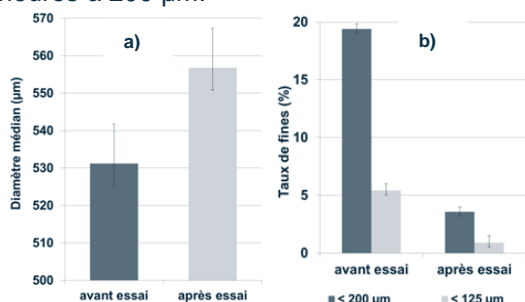
<b>masse totale</b>	
<b>Différence (g)</b>	254,65
<b>Différence standardisée</b>	4,13
<b>Valeur critique à 95 % (table de Student)</b>	2,04
<b>Probabilité d'erreur</b>	0,00
<b>Différence Significative</b>	Oui

**Tableau 1 : Résultats du test analytique de comparaison des moyennes**

Ces masses de dépôts totales de produits peuvent sembler relativement faibles. Cependant, à l'échelle industrielle, pour des lots de 3 à 5 tonnes, cette masse de dépôt supplémentaire représenterait 15 à 25 kg d'aliments dans un élévateur industriel.

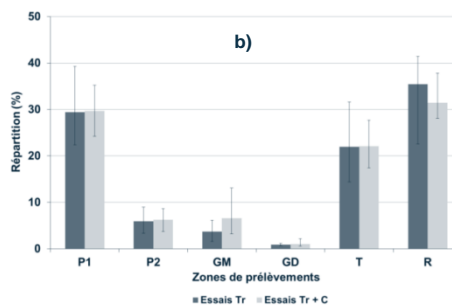
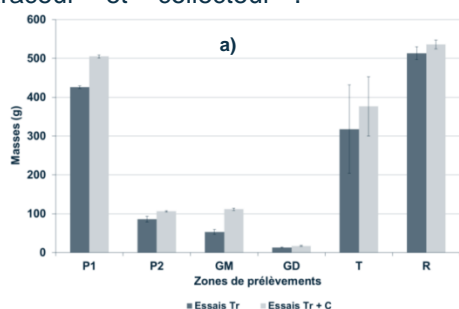
Cette augmentation peut être expliquée par l'accumulation de produits sur certaines zones (adhésion aux parois) avec ou sans renouvellement des dépôts.

La Figure 4 présente l'évolution du diamètre médian (a) et du taux de fines (b), dans les lots, avant et après passage dans l'élévateur. La Figure 4a montre une nette augmentation du diamètre médian du lot, après son passage dans l'élévateur (25 µm en moyenne). La Figure 4b montre, quant à elle, une perte de 15,8% en moyenne des particules allant de 125 à 200 µm et de 4,5% pour les particules inférieures à 125 µm. Ainsi, les dépôts de produits dans l'élévateur sont essentiellement des particules inférieures à 200 µm.



**Figure 4 : Évolution du diamètre médian (a) et de la proportion en masse de particules fines (b) - moyennes des essais " traceur "**

La Figure 5 (en masse (a) et en % (b)) illustre la répartition des quantités de produits déposées dans chaque zone de prélèvement après le passage des lots « traceur » et « collecteur ».



**Figure 5 : Répartition relative des dépôts dans l'élévateur**

Ces résultats mettent en exergue la variabilité des zones de dépôts lors du passage d'un lot. En effet, certaines zones comme le fond du pied (P1) et la tête de l'élévateur (T) sont des lieux de dépôt privilégiés. Environ 60% de la masse totale est déposée dans ses deux zones.

La significativité de l'augmentation de la masse des dépôts avec le passage d'un lot supplémentaire est confirmée pour 4 des zones, mais pas pour la tête (T) et le reste (R), par l'étude statistique de comparaison des moyennes (Tableau 2).

	<b>Critère de Student</b>	<b>Valeur critique à 95 % (table de Student)</b>	<b>Probabilité d'erreur</b>	<b>Différence Significative</b>
<b>P1</b>	5,37	2,04	< 0,0001	Oui
<b>P2</b>	2,13	2,04	0,04	Oui
<b>GM</b>	4,62	2,04	< 0,0001	Oui
<b>GD</b>	3,19	2,04	0,001	Oui
<b>T</b>	2,03	2,04	0,05	Non
<b>R</b>	0,77	2,04	0,45	Non

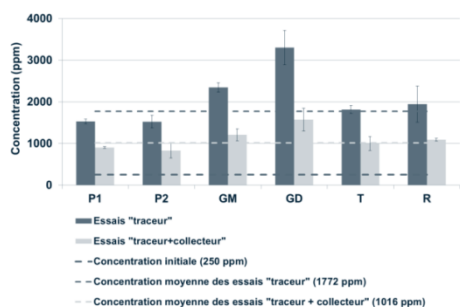
**Tableau 2 : Analyse de comparaison des moyennes des masses de dépôts dans chaque zone de prélèvement**

Les localisations (T) et (R) présentent une variabilité importante. Elle s'explique par la verticalité de ces zones et par les masses de dépôts importantes. Au niveau de ces zones, le produit s'accumule jusqu'à atteindre son angle limite d'avalanche entraînant la chute du dépôt. Par conséquent, la quantité récoltée est fortement dépendante du moment du prélèvement. De plus, la verticalité de ces zones engendre une difficulté supplémentaire pour prélever intégralement le dépôt (chute de produit possible).

Dans le cas de la tête (T), la valeur de Student (2,04) est à peine supérieure à la valeur du critère calculé (2,03). Ainsi, pour un seuil de probabilité plus élevé ( $P > 5\%$ ), la différence aurait été significative. De fait, le comportement des masses dans cette zone reste une information importante.

### 3.3. Concentration des dépôts en microtraceur

La Figure 6 montre une concentration moyenne en microtraceur dans ces dépôts environ sept fois supérieure à la concentration initiale (250 ppm). Malgré le passage d'un lot collecteur, cette concentration reste quatre fois supérieure à la concentration initiale.



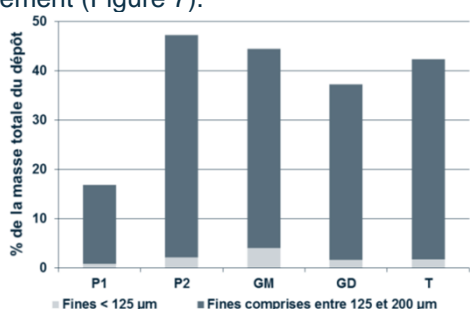
**Figure 6 : Concentrations moyennes des dépôts obtenues lors des essais répétabilité et des essais du plan d'expériences**

Ce phénomène concerne chaque zone de prélèvement. L'effet concentrateur de l'élévateur à godets, identifié par Jansen et al (1982), est donc confirmé.

Les dépôts sur les gaines montante (GM) et descendante (GD) présentent les concentrations les plus élevées (respectivement 2000 et 3000 ppm). Cependant, les masses de dépôts sont les plus faibles (Figure 5a).

À l'inverse, la concentration du pied (P1) est l'une des moins importantes (~ 1500 ppm) avec l'une des quantités de traceur les plus élevées. Ceci est dû à la quantité importante de dépôt dans cette zone (environ 30 % de la masse totale de dépôts).

De plus, ils mettent en exergue des comportements différents des particules fines sur les zones de prélèvement (Figure 7).



**Figure 7 : Proportion de particules fines selon leur diamètre pour chaque zone de prélèvement**

La mise en relation des Figure 6 et Figure 7 permet de distinguer trois zones :

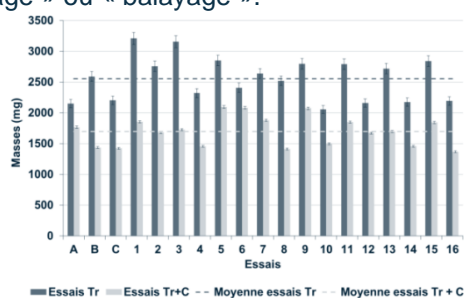
- « **Résiduelle** » (P1) : Ces dépôts sont issus à la fois d'une fraction de produit déjà présente et du reflux de produit dans le brin descendant. La concentration en traceur y est la plus faible.
- « **Inclinée** » (P2) : Ces dépôts contiennent beaucoup de fines (47,3 %), générées par leur mise en suspension lors du remplissage des godets et de la vidange du "trop-plein". Par conséquent, cette zone contient peu de particules très fines et les concentrations mesurées sont donc plus faibles.
- « **Verticales** » (GM, GD et T) : Ces dépôts sont, en grande partie, composés de particules fines. Ils contiennent une part non négligeable de particules de l'ordre de 100  $\mu m$ , en particulier la gaine montante (GM). Cette

fraction engendre des concentrations en traceur importantes.

Ces résultats démontrent donc l'intérêt, dans le cadre de l'étude des TIL, de se focaliser sur les masses de microtraceur déposées et transférées plutôt que sur les concentrations en microtraceur des dépôts.

### 3.4. Masse de dépôt de microtraceur dans l'élévateur

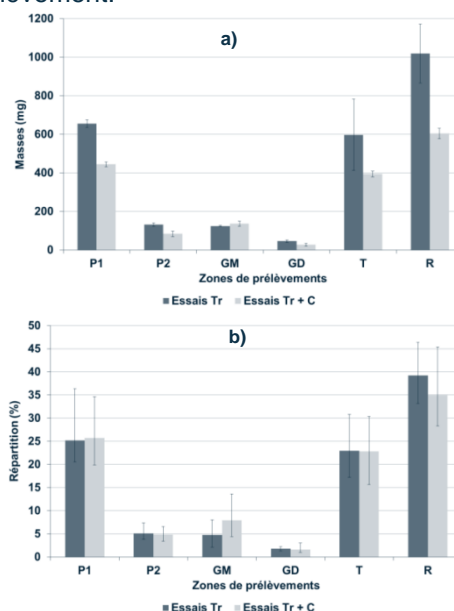
La Figure 8 illustre le renouvellement des dépôts au cours du passage des lots collecteurs, appelé aussi « rinçage » ou « balayage ».



**Figure 8 : Masses totales de microtraceur déposées**

Une forte décroissance de la masse de microtraceur déposée est observée entre les essais "traceur" et "traceur + collecteur" (plus de 850 mg en moyenne).

La Figure 9 (en masse (a) et en % (b)) représente la répartition des dépôts de microtraceur dans l'élévateur. Elle souligne la présence d'un phénomène de balayage de micro-ingrédient par le passage d'un lot collecteur sur l'ensemble des zones de prélèvement.



**Figure 9 : Répartition du microtraceur déposé**

Cette répartition est proche de celle observée pour la Figure 5. Ceci témoigne d'une répartition hétérogène du microtraceur dans les particules fines libérées de la matrice du produit lors de son passage dans l'élévateur à godets.

Les variations de masses entre les essais "traceur" et "traceur + collecteur" sont significatives (Tableau 3), excepté pour les dépôts sur la gaine montante (GM). Les particules fines s'accumulent donc sur cette paroi verticale (augmentation de la masse de produit déposée), mais aucun phénomène de rinçage n'est observé (pas de variation notable de la masse de traceur).

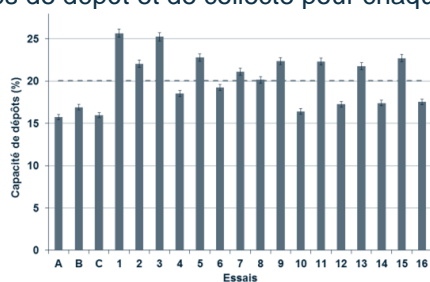
	Critère de Student	Valeur critique à 95 % (table de Student)	Probabilité d'erreur	Différence Significative
<b>masse totale</b>	8,13	2,04	< 0,0001	Oui
<b>P1</b>	8,45	2,04	< 0,0001	Oui
<b>P2</b>	5,84	2,04	< 0,0001	Oui
<b>GM</b>	0,67	2,04	0,51	Non
<b>GD</b>	7,60	2,04	< 0,0001	Oui
<b>T</b>	3,65	2,04	0,001	Oui
<b>R</b>	7,40	2,04	< 0,0001	Oui

**Tableau 3 : Analyse de comparaison des moyennes pour les masses de microtraceur déposées**

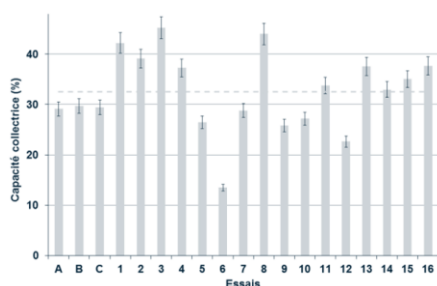
L'étude et l'analyse des masses de produit et de microtraceur sont essentielles pour appréhender le phénomène de transferts inter-lots. Deux grandeurs ont été mises en place : la capacité de dépôts et la capacité collectrice. Elles permettent ainsi de réaliser la liaison entre la station d'essais et les lignes de fabrication industrielles.

### 3.5. Capacités de dépôts et capacités collectrice

Ces valeurs sont utilisées dans le but de faciliter la comparaison entre le pilote et les sites industriels. La capacité de dépôts est le rapport de la masse de microtraceur déposée sur la masse de traceur initiale, exprimée en %. La capacité collectrice correspond au rapport de la masse de microtraceur collectée sur la masse de traceur déposée. Les Figure 10 et Figure 11 illustrent respectivement les capacités de dépôt et de collecte pour chaque essai.



**Figure 10 : Capacités de dépôts (%)**



**Figure 11 : Capacités collectrices (%)**

Pour la capacité de dépôt, le transfert du produit par l'élévateur à godets génère, en moyenne, une perte d'un peu moins de 20% de la quantité de traceur initial. Dans le cas de la station d'essais, cette valeur représente 2,5 g, mais pour une ligne de fabrication industrielle (5 tonnes à 250 ppm), elle correspond à un défaut de 250 g de micro-ingrédients dans l'aliment final (50 ppm). De plus, il est à noter que les essais effectués dans les conditions de référence (essais A, B et C) présentent les capacités de dépôts les plus basses. Il semblerait donc que les pratiques industrielles ne soient pas optimales du point de vue des transferts inter-lots.

Pour la capacité de collecte, les lots collecteurs rincent, en moyenne, 32% de la masse de traceur déposée dans l'élévateur sur la base des quantités de traceurs dans les dépôts lors des deux sous-essais. À noter que l'essai n°6 présente une capacité collectrice beaucoup plus faible que les autres sans qu'aucune explication claire n'ait pu être apportée.

Enfin, ces essais réalisés dans des configurations différentes de la station conduisent à des capacités de dépôts similaires. Néanmoins, ces mêmes essais peuvent correspondre à des capacités collectrices différentes, et inversement. Autrement dit, **les facteurs procédés agissant sur la capacité de dépôt ne sont pas ceux qui influencent la capacité collectrice.**

## 4. Conclusion

Comme démontré dans la littérature, l'élévateur à godets est effectivement un appareil de manutention retenant une part importante des aérosols générés lors du transfert d'un pulvérulent.

L'ensemble des résultats, obtenus lors des essais sur la station expérimentale mettent en évidence l'accumulation des reliquats lors du passage des lots et le renouvellement de ces dépôts et leur concentration élevée en produits fins. Ce dernier point démontre en particulier l'intérêt de décomposer le phénomène de transfert inter-lots en deux processus distincts : le dépôt lors du passage d'un lot traceur, et la collecte lors du passage d'un lot collecteur.

## 5. Bibliographie

i'Doc\_T16, 2013 - Programme POUSSALIM Étude expérimentale du comportement des aérosols et de leurs dépôts dans un élévateur à godets : Impact sur les transferts inter-lots en alimentation animale

i'Tec\_H17, 2014 - Méthode d'analyse du Microtraceur Rf Bleu Lake après extraction en milieu aqueux

i'Tec\_T12, 2017 - Transfert inter-lots des micro-ingrédients au niveau d'un élévateur à godets : Méthode

Jansen H.D., Friedrich W., 1982. Entmischungen beim fördern von ungespresstem mischfutter. Die mühle und mischfuttertechnik, 119, 9, 111-116.