

Mesure de la distribution des temps de séjour Protocole

L'objectif de cet i'Tec est de mettre à la disposition des industriels un protocole détaillé de mesure de la Distribution des Temps de Séjour. Ce protocole a été rédigé à partir de l'expérience acquise par Tecaliman en usines. Les différentes phases du protocole sont décrites ou illustrées à l'aide d'exemples.

La méthode proposée est basée sur l'utilisation de traceurs particulaires et l'incorporation du traceur par injection-impulsion.

1. Objectif de la mesure

Définir de la campagne de mesure.

Exemple : la campagne de mesure a pour objectif de qualifier la durée de conditionnement des farines dans un maturateur avant granulation.

2. Principe

La distribution du temps de séjour de la farine dans le procédé (DTS) est estimée à l'aide d'un traceur particulaire, incorporé par injection – impulsion à l'entrée du procédé.

Les échantillons de farine, contenant le traceur, sont récupérés à la sortie du procédé.

Le dosage de la concentration en traceur présente dans ces échantillons permet d'établir et d'étudier la distribution des temps de séjour à la sortie du procédé (Tecaliman 2004 a).

3. Matériels

3.1. Aliment

Noter le type d'aliment, la formule, déterminer sa granulométrie et sa masse volumique apparente.

Exemple : Un aliment Vache laitière de formule 1245 est sélectionné pour réaliser l'essai.

La granulométrie de l'aliment est déterminée à l'aide des méthodes décrites dans les normes AFNOR X-11-501 et ASAE 319-1, afin de choisir un traceur d'une granulométrie proche.

Le diamètre médian de l'aliment est de 624 μm .

Soixante-huit pour cent des particules ont un diamètre équivalent compris entre 329 et 1186 μm .

La masse volumique de l'aliment en farine est de 594 g/litre. Cette grandeur est mesurée à l'aide de la méthode AFNOR référencée NF 23923-1 de 1993. Cette donnée est utilisée pour calculer le débit volumique du procédé de traitement.

3.2. Traceur

Plusieurs types de traceurs particulaires peuvent être utilisés (Tecaliman 2004 b). Dans la mesure du possible, il faut choisir un traceur dont la granulométrie et la masse volumique apparente sont proches de celles de l'aliment.

Lorsque le traceur est choisi, il faut noter le type de traceur, sa granulométrie, sa masse volumique apparente et le nombre de particules par gramme de traceur.

Exemple : Le traceur utilisé est de la rafle de maïs calibrée, colorée en rouge. Ses caractéristiques sont présentées dans le Tableau 1.

Nombre de particules par gramme	2084
Granulométrie	100 % des particules ont un diamètre équivalent compris entre 630 et 800 μm
Masse volumique apparente (g/litre)	215

Tableau 1

3.3. Ligne de traitement

Il faut décrire la ligne de traitement, la représenter sur une figure, préciser les lieux d'incorporation du traceur et de prélèvement des échantillons.

Exemple : La ligne de traitement thermique est composée de deux vis d'alimentation D1 et D2, de deux malaxeurs (MMA et MAL), d'un maturateur et d'une presse à granuler (Figure 1).

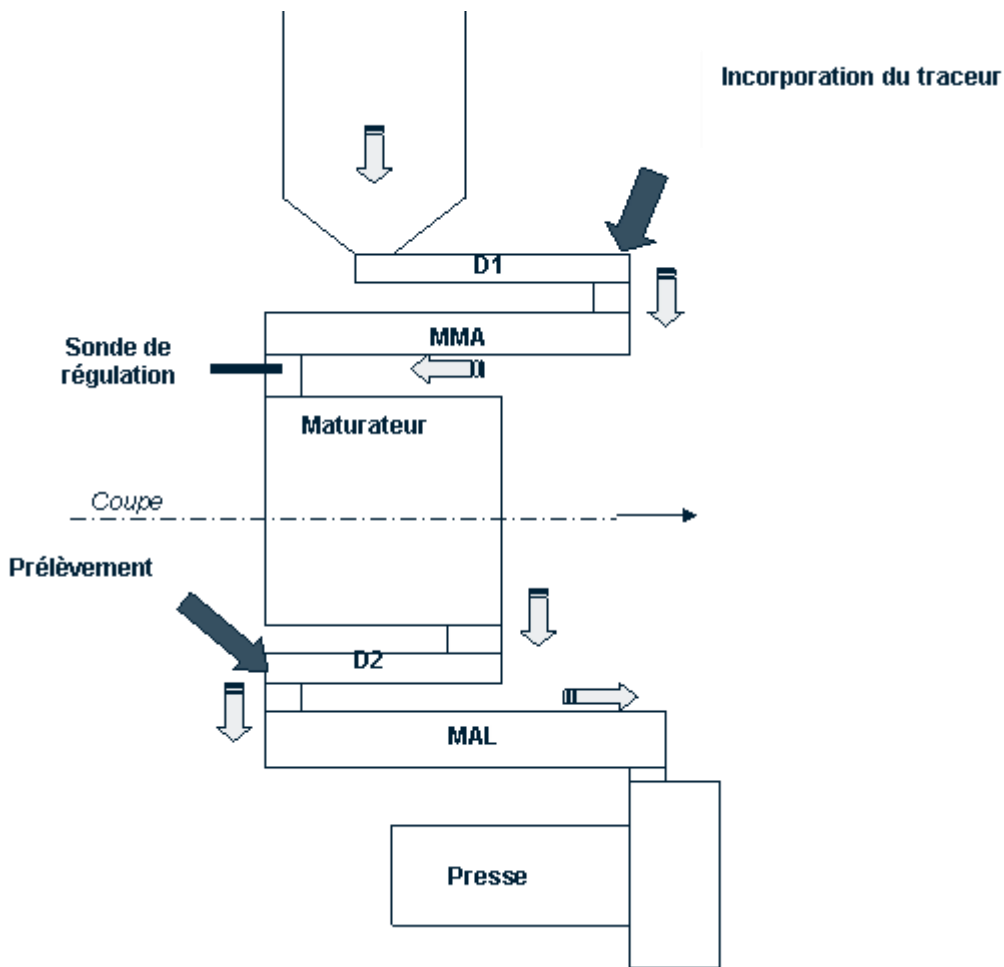


Figure 1

4. Méthodes

4.1. Fonctionnement de la ligne de traitement thermique

Les informations que l'usine doit fournir sont : le débit de la ligne de traitement, la durée moyenne du traitement (ou temps de passage) et éventuellement, le taux de remplissage du procédé et son volume utile.

Exemple : Le débit moyen de la ligne de traitement est estimé à 10 t/h. et la durée moyenne du traitement comprise entre 15 et 20 minutes.

4.2. Injection du traceur

4.2.1. Quantité de traceur à injecter

La quantité injectée doit être connue de façon précise, car si elle est surestimée, elle aura une influence sur le taux de récupération du traceur et rendra l'interprétation des résultats difficile.

Cette quantité est calculée à partir :

- de la durée maximale de l'injection-impulsion, qui doit être inférieure ou égale à $T_p \times 0,01$ (TECALIMAN 2004a)

- du débit volumique d'injection du traceur par rapport au débit volumique d'aliment ($< 4\%$),
- de la concentration moyenne de traceur ou concentration équivalente « C_{eq} » que l'on veut doser à la sortie du procédé (Pour cela on prend pour hypothèse que le traceur se répartit de façon homogène dans la masse de produit contenue dans le procédé).

Pour réaliser ce calcul, il faut connaître :

- le temps de passage de l'aliment dans le procédé (T_p), estimé par l'usine ou calculé à partir de la masse de produit présente dans le procédé et du débit du procédé,
- le débit massique d'aliment (D_{ma}),
- la masse volumique apparente de l'aliment (M_{va}),
- la masse volumique apparente du traceur (M_{vt}),
- le nombre de particules par gramme de traceur (N_t).

Un exemple de calcul est donné dans le Tableau 2 et le Tableau 3.

TRACEUR	Unité	Symbole	Formule
Temps de passage de l'aliment (Estimation usine)	sec.	Tp	
Débit massique aliment (Estimation usine)	kg/h	Dma	
Masse volumique aliment (mesurée)	kg/l	Mva	
Masse volumique traceur (mesurée)	kg/l	Mvt	
Volume utile du procédé (Calculé à partir de la vignette du constructeur)	l	Vp	
Nombre de particules par gramme de traceur (mesurée)	Part./g	Nt	
Nombre de particules de traceur/gramme aliment ou concentration équivalente	Part./g	Ceq	
Masse de l'aliment dans le procédé	g	Ma	$Ma = (Dma/3600)*Tp*1000$
Nombre de particules injectées		N	$N = Ma*Ceq$
Quantité de traceur injectée	g	Mt	$Mt = Ni/Nt$
Durée maximale de l'injection (Tp*0,01)	sec.	Tmax	$Tmax = Tp*0,1$
Débit massique de traceur pendant la durée de l'injection	kg/h	Dmt	$Dmt = (Mt/1000)/(Tmax*3600)$
Débit massique de traceur en % du débit massique d'aliment	%	$Dmt\%Dma$	$Dmt\%Dma = (Dmt/Dma)*100$
Débit volumique d'aliment pendant la durée de l'injection	l/h	Dva	$Dva = Dma/Mva$
Débit volumique de traceur pendant la durée de l'injection	l/h	Dvt	$Dvt = Dmt/Mvt$
Débit volumique de traceur en % du débit volumique d'aliment pendant la durée de l'injection	%	$Dvt\%Dva$	$Dvt\%Dva = (Dvt/Dva)*100$

Tableau 2

Symbole	Unité	Exemple
Tp	sec.	1.200
Dma	kg/h	10.000
Mva	kg/l	0,594
Mvt	kg/l	0,215
Vp	l	1.000
Nt	Part./g	2.004
Ceq	Part./g	0,25
Ma	g	3.333.333
Ni		833.333
Mt	g	416
Tmax	sec.	12
Dmt	kg/h	125
$Dmt\%Dma$	%	1,2
Dva	l/h	16.835
Dvt	l/h	580
$Dvt\%Dva$	%	3,4

Tableau 3 : Traceur : particules de rafle de maïs colorées

4.2.2. Mode et lieu d'injection du traceur

Au temps $t_0 = 0$ minute, une masse connue de traceur est injectée en une seule fois et très rapidement (injection – impulsion), à l'entrée du procédé. L'injection du traceur doit être, si possible, réparties dans toute la section d'entrée du procédé » étudié (Tecaliman 2004 a).

Exemple : Au temps $t_0 = 0$, une masse de 412 g de traceur est injectée rapidement (injection – impulsion) à l'entrée du malaxeur MMA (figure 1).

4.3. Prélèvement des échantillons

4.3.1. Échantillons destinés à la caractérisation de l'aliment

Un échantillon d'aliment est prélevé à la sortie de la mélangeuse pour mesurer sa granulométrie. Un échantillon d'aliment est prélevé à la sortie du procédé pour déterminer sa masse volumique apparente et sa teneur en humidité.

4.3.2. Échantillons destinés à la mesure de la DTS

Les échantillons sont prélevés le plus près possible du mélangeur-réacteur (Tecaliman 2004 a). Les échantillons doivent être prélevés sur la totalité du flux, afin d'obtenir un échantillon représentatif de toutes les particules sortantes (aliment+traceur) à l'instant du prélèvement. Si cela n'est pas possible, il est nécessaire de croiser les sens de prélèvements une fois sur deux, par exemple prélever les échantillons pairs de gauche à droite et les échantillons impairs de droite à gauche.

Afin d'avoir la courbe complète de distribution des temps de séjour et un taux de récupération du traceur voisin de 100%, il est nécessaire de prélever au moins 40 échantillons, répartis sur un temps égal à environ deux fois le temps de passage.

A l'introduction du traceur, c'est à dire au temps $t_0 = 0$ minute, un chronomètre est déclenché.

Chaque échantillon doit être conditionné (éventuellement après division) dans un pot en matière plastique étanche et identifié par un numéro. Ce

numéro doit correspondre à l'ordre de prélèvement.

Exemple : Les prélèvements sont réalisés à la sortie de la vis D2. Etant donné que le temps de passage dans le procédé est compris entre 15 et 20 minutes, les échantillons sont prélevés toutes les 30 secondes (Période de prélèvement), du temps $t_0 = 0$ minute au temps $t_{43} = 43$ minutes.

Au total, 43 échantillons d'au moins 100 g sont conditionnés dans des pots en matière plastique identifiés par un numéro de 0 à 43, correspondant à l'ordre de prélèvement.

4.4. Dosage du traceur

La technique de dosage du traceur est fonction du traceur utilisé (Tecaliman 2004 b).

Pour réduire le nombre d'analyse, la concentration en traceur est dosée dans un premier temps sur les échantillons "pairs". Ce dosage est réalisé

sur la totalité de l'échantillon, ou sur une prise d'essai obtenu par division de l'échantillon (utiliser un diviseur à rifle).

Si le nombre de données obtenues après dosage du traceur dans les échantillons pairs ne permet pas de tracer les courbes de distribution de temps de séjour, des dosages complémentaires seront réalisés sur des échantillons impairs.

Si les échantillons prélevés dans l'usine ont subi une dessiccation au cours de leur stockage, il faut mesurer la teneur en humidité de ces échantillons, afin de calculer le nombre de particules par gramme d'aliment prélevé à la sortie du procédé.

Exemple : La concentration en traceur est dosée par comptage de particules colorées en rouge dans les échantillons "pairs", ce qui correspond à une période de prélèvement de 60 secondes et à 43 échantillons. Les résultats sont présentés dans le Tableau 4.

Ti = Age des particules ou temps de séjour (minute)	N° Echantillon	Poids de l'échantillon (g)	Nombre de particules de traceur
T0	0	226	0
T1	2	218	0
T2	4	215	0
T14	28	232	0
T15	30	275	1
T16	32	279	1
T42	84	270	8
T43	86	246	5

Tableau 4

4.5. Moyens à mettre en œuvre

4.5.1. Personnel

Au niveau du point d'injection du traceur, une personne est nécessaire pour réaliser cette opération.

Sur le lieu de prélèvement des échantillons, à la sortie du procédé : 3 personnes doivent être présentes :

- une personne pour prélever les échantillons.
- une personne pour passer les récipients, dans lesquels sont conditionnés les échantillons au préleveur.
- un chronométreur qui est chargé de donner les tops en fonction de la période de prélèvement.

Après injection du traceur, la personne responsable de cette opération doit rejoindre l'équipe de prélèvement pour évacuer les échantillons de la zone de prélèvement et fermer si nécessaire les récipients les contenant.

4.5.2. Matériels

Prévoir des moyens de prélèvement, des récipients numérotés pour conditionner les échantillons, un chronomètre et la quantité de traceur nécessaire avec un conditionnement adapté au lieu d'injection.

5. Bibliographie

Tecaliman 2004a, Mesure de la durée des traitements - Notion de distribution des temps de séjour - **i'Tec_S11** - novembre 2004.

Tecaliman 2004b, Les traceurs de mesure de la distribution des temps de séjour - **i'Tec_S12** - novembre 2004.

Tecaliman 2004, Mesure de la distribution des temps de séjour par injection - impulsion - Traitement des données - **i'Tec_S14** - novembre 2004.