

Méthode de détermination et d'expression de la granulométrie des aliments en farine

1. Introduction

La méthode proposée a été établie par TECALIMAN à partir de méthodes déjà existantes (INRA, AFNOR, ASAE). Elle est utilisée par certaines firmes services et usines.

A la demande des industriels, une version sous tableurs de la méthode de traitement des données à été élaborée, elle est disponible à TECALIMAN.

2. Principes et limites de la méthode

2.1. Principes

La structure particulière d'un aliment farine est appréciée par la mesure d'une ou de plusieurs caractéristiques géométriques: longueur, diamètre, volume ou surface, souvent réunies sous le vocable général de « taille », des particules composantes.

La population de particules est ainsi classée selon la caractéristique choisie par une technique appropriée et les résultats sont exprimés le plus souvent en masse.

En alimentation animale, la technique de classement la plus utilisée est le tamisage à sec et la variable qui caractérise la taille des particules est alors le diamètre. Les particules sont donc assimilées à des sphères dont le diamètre ou *diamètre équivalent* est fonction des mailles de tamis (cf.5.1).

La représentation graphique de la distribution en taille des particules sur un papier graphique semi-logarithmique montre que cette distribution suit une loi log-normale (figure 1).

Cette distribution, de type gausso-logarithmique (NF. X 11-635), est alors caractérisée par deux variables statistiques:

une variable de position, le *diamètre médian* « d_{50} » et une variable de dispersion, l'*écart type logarithmique* « Sg » ou quantile (figure 1).

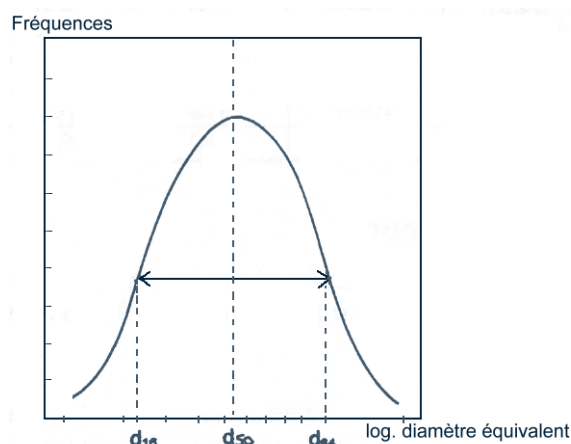


Figure 1 : Représentation en échelle semi-logarithmique d'une distribution log normale

Le diamètre médian partage l'effectif de la population de particules en deux parties de masses égales, c'est à dire que 50% de la population ont un diamètre équivalent supérieur ou 50% inférieur au diamètre médian.

L'écart-type logarithmique est égal aux rapports entre le diamètre médian et les diamètres équivalents aux fréquences cumulées de 84.13 et 15.87% (arrondi à 84% et 16%) :

$$Sg = \frac{d_{84}}{d_{50}} = \frac{d_{50}}{d_{16}}$$

Ce qui signifie qu'environ 68 % en masse des particules ont un diamètre équivalent compris entre d_{16} et le d_{84} .

2.2. Limites

Les limites de la méthode sont liées à la technique de classement et au mode de traitement statistique des données.

Ainsi, la méthode proposée ne doit pas être utilisée pour déterminer la granulométrie de produits composés de particules allongées ou aplaties, comme le foin haché ou les grains floconnés.

De plus, elle ne s'applique que si la distribution en taille des particules est log-normale, ce qui se vérifie dans la majorité des farines obtenues en alimentation animale (NF. X-11-635).

3. Matériels

3.1. Tamis

Une série de tamis dont le diamètre est égal ou supérieur à 200 mm (NF X 11-507) et dont la dimension des ouvertures des toiles métalliques est définie par la norme NF X 11-506 (tableau 1).

Dimension de l'ouverture des mailles des toiles métalliques en μm			
6300	2000	630	200
5000	1600	500	160
4000	1250	400	125
3150	1000	315	100
2500	800	250	80

Tableau 1 : Dimensions des ouvertures de mailles

3.2. Tamiseur

Le tamiseur de laboratoire doit être équipé de 10 à 12 tamis de diamètre égal ou supérieur à 200 mm.

3.3. Balance

La balance possède une exactitude de pesée supérieure à 0,1g.

4. Méthode de tamisage

4.1. Préparation du matériel

4.1.1. Sélection et Contrôle des tamis

Sélectionner, en fonction de la granulométrie estimée du produit, un jeu de 10 à 12 tamis dont les dimensions des ouvertures de mailles sont dans l'ordre défini par la norme NF X 11-506 (tableau 1).

Vérifier que tous les tamis, composant le jeu, possèdent le même fond de tamis (tissu métallique) et la même forme de mailles.

Examiner les fonds de tamis afin de déceler les imperfections éventuelles (déformations, rupture de maille, encrassement).

Remplacer les tamis défectueux et nettoyer les tamis encrassés (brossage, eau chaude plus détergent, ultrasons).

4.1.2. Homogénéisation de l'échantillon et prise d'essai

Homogénéiser préalablement l'échantillon de farine et prélever une prise d'essai d'environ 100 g.

4.2. Tamisage

4.2.1. Conditions générales de tamisage

Placer la prise d'essai sur le tamis supérieur et déclencher le tamiseur après avoir réglé la minuterie.

La durée du tamisage est fonction de l'appareil utilisé. Elle est généralement comprise entre 10 et 15 minutes.

Après arrêt du tamiseur, peser et noter les refus obtenus sur chaque tamis.

La masse du refus du tamis supérieur ou celle du passant du tamis inférieur doit être inférieure à 10% de la masse de la prise d'essai.

Si les tamis se colmatent, mettre sur chaque tamis une dizaine de grains de blé ou communiquer une ou deux secousses au jeu de tamis à la fin du tamisage.

4.2.2. Essai préliminaire

L'objectif de cet essai est de vérifier la conformité du jeu de tamis sélectionné a priori. Il est réalisé en respectant les conditions générales de tamisage :

- Si la masse du refus du tamis supérieur ou celle du passant du tamis inférieur est supérieure à 10%, sélectionner un nouveau jeu de tamis et recommencer l'essai préliminaire.
- Si la masse du refus du tamis supérieur et celle du passant du tamis inférieur sont inférieures à 10%, réaliser la mesure proprement dite.

4.2.3. Mesure proprement dite

Elle est réalisée en respectant les conditions générales de tamisage. Elle consiste à tamiser une deuxième et éventuellement troisième prise d'essai représentative de l'échantillon de farine.

5. Traitement des données

5.1. Méthode graphique

5.1.1. Tableau de données

Calculer par fraction granulométrique, la moyenne des refus en % et le diamètre équivalent correspondant (voir exemple tableau 2).

5.1.2. Détermination du diamètre médian et de l'écart-type logarithmique

La courbe granulométrique cumulative est établie sur un papier graphique dont l'abscisse est logarithmique et dont l'ordonnée est galtonnienne. Les diamètres des tamis sont portés en abscisse et les fréquences cumulées des passants en ordonnée (figure 2).

Cette méthode permet de représenter la granulométrie de la farine sous la forme d'une droite et de déterminer géométriquement le diamètre médian d_{50} et l'écart-type logarithmique S_g (NF X 11-635 et 636).

Formule		VL18-508		Norme de tamis		NF X11-501	
Opérateur				Méthode		à sec	
Référence de l'échantillon				Fond de tamis		200 mm rond	
Tamiseur				Masse initiale en g		101	
Ouverture maille	Refus sur chaque tamis		total	moyenne %	Diamètre équivalent µm	Refus cumulés %	
	Mesure 1 g	Mesure 2 g					
1600	3.2	2.8	6.0	3.0	1 788	100.0	
1250	13.7	14.0	27.7	13.8	1 414	97.0	
1000	15.0	15.2	30.2	15.0	1 118	83.2	
800	14.8	14.2	29.0	14.4	894	68.2	
630	13.4	13.6	27.0	13.4	710	53.8	
500	12.9	13.0	25.9	12.9	561	40.4	
400	8.1	8.0	16.1	8.0	447	27.5	
315	7.7	7.9	15.6	7.8	355	19.5	
250	3.2	3.5	6.7	3.3	281	11.7	
200	3.8	4.0	7.8	3.9	224	8.4	
160	1.8	1.5	3.3	1.6	179	4.5	
125	1.1	1.0	2.1	1.0	141	2.9	
Passant	1.7	2.0	3.7	1.8	111	1.8	
Total	100.4	100.7	201.1	100			

Diamètre médian (µm)	678	Ecart-type	1.87
-----------------------------	------------	-------------------	-------------

Tableau 2

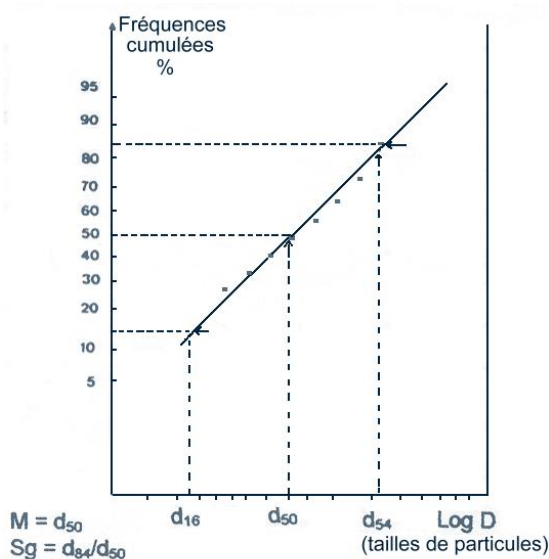


Figure 2 : Représentation logarithmique.

Probabilité d'une distribution logarithmique normale

5.2. Méthode par calcul

La méthode utilisée est basée sur celle de la norme ASAE S 319.2.

5.2.1. Diamètres équivalents

Il est égal à la racine carrée du produit de l'ouverture du tamis sur lequel est récupéré le refus par l'ouverture du tamis situé juste au-dessus.

Pour la première fraction, il est égal à la racine carrée du produit de l'ouverture du tamis sur lequel est

récupéré le refus par l'ouverture du tamis situé théoriquement juste au dessus (tableau 1).

Pour la dernière fraction ou passant du dernier tamis, il est égal à la racine carrée de l'ouverture du dernier tamis avec l'ouverture du tamis situé théoriquement juste au-dessous (tableau 1).

5.2.2. Calcul manuel

La méthode est présentée dans le tableau 3, ou

$$d50 = \log^{-1} \left[\frac{\sum (P_i \cdot \log d_i)}{\sum P_i} \right]$$

et

$$Sg = \log^{-1} \left[\frac{\sum P_i \cdot (\log d_i - \log d50)^2}{\sum P_i} \right]^{1/2}$$

5.2.3. Logiciels de calcul

A partir d'applications développées sur les tableurs Lotus 1-2-3 et Excel 5.0 et en entrant sur un tableau de saisie de données les résultats en masse des tamisages, les calculs se réalisent automatiquement. Les logiciels éditent :

- un tableau présentant la distribution en % cumulé par fraction, le diamètre médian, l'écart-type logarithmique
- une représentation graphique du spectre granulométrique cumulé en fonction du diamètre d'ouverture des tamis.

6. Liste des Fournisseurs de Matériels

Papier graphique Logaro-galtonien pour granulométrie

Société Guyot Graphco
Av. de la république 71210 Montchanin
Téléphone : 01.85.78.54.11
Télécopie : 01.85.78.08.39

Tamiseur et tamis

Buhler Tour Aurore 92080 Paris la Défense Cedex 05
Téléphone : 01.47.78.61.71
Télécopie : 01.47.74.84.14

Fritsch, B.P. 78, 91943 Courtaboeuf Cedex
Téléphone : 01.69.86.21.21
Télécopie : 01.69.86.21.31

Haver Boecker, BP 91, 02403 Chateau Thierry
Téléphone : 01.39.11.80.80
Télécopie : 01.23.69.29.31

Retsch
Veder PA de la Danne, 95160 Eragny
Téléphone : 01.34.64.29.53
Télécopie : 01.34.64.44.50

Tripette et Renaud
ZI du Val de la Seine, 20 Av. Marcellin Berthelot 92396
Villeneuve la Garenne

Téléphone : 01.47.47.50.05
Télécopie : 01.47.98.29.04

7. Bibliographie

- American Society of Agricultural Engineers, ASAE Standard: ASAE S319.2 Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving
- AFNOR, Recueil de normes francaises, 1990, Granulométrie, tamis, tamisage et autres méthodes d'analyses granulométriques.
- Norme AFNOR X 11-506, Tamis et tamisage - Toiles métalliques à ouvertures carrées et à fils ronds pour tamisage industriel.
- Norme ISO 2591-1 ou AFNOR X 11-507, Analyses granulométriques - Tamisage de contrôle
- Norme AFNOR X 11-632, Granulométrie - Expression des résultats expérimentaux d'analyses granulométriques.
- Norme AFNOR X 11-635, Granulométrie - Représentation des distributions granulométriques - Partie 1 : Modèle de référence.
- Norme AFNOR X 11-636, Granulométrie, Représentation des distributions granulométriques - Partie 2 : Ajustement d'une courbe cumulative expérimentale à un modèle de référence - Cas du tamisage.

Diamètre ouverture tamis (µm)	Diamètre Equivalent di	Log di	Poids g = Pi (a)	Poids % Pi %	Pi * log di (b)	log di - log d50	Pi (log di - log d50) ² (c)
2500	2806.243	3.448	0	0.00	0.000	0.617	0.000
2000	2236.068	3.349	0	0.00	0.000	0.518	0.000
1600	1788.854	3.253	3	2.98	9.758	0.421	0.533
1250	1414.214	3.151	13.85	13.77	43.635	0.319	1.413
1000	1118.034	3.048	15.1	15.02	46.032	0.217	0.713
800	894.427	2.952	14.5	14.42	42.797	0.120	0.210
630	709.930	2.851	13.5	13.43	38.491	0.020	0.005
500	561.249	2.749	12.95	12.88	35.602	-0.082	0.087
400	447.214	2.651	8.05	8.01	21.337	-0.181	0.263
315	354.965	2.550	7.8	7.76	19.891	-0.281	0.616
250	280.624	2.448	3.35	3.33	8.201	-0.383	0.491
200	223.607	2.349	3.9	3.88	9.163	-0.482	0.905
160	178.885	2.253	1.65	1.64	3.717	-0.579	0.552
125	141.421	2.151	1.05	1.04	2.258	-0.681	0.486
100	111.803	2.048	1.85	1.84	3.790	-0.783	1.133
80	89.443	1.952	0	0.00	0.000	-0.880	0.000
63	70.993	1.851	0	0.00	0.000	-0.980	0.000
Total			100.6	100.0	284.671		7.408

Tableau 3 : Méthode de calcul ASAE. S 319.2

$$\log d50 = \frac{\text{total (b)}}{\text{total (a)}} = 2.831$$

$$(\log Sg)^2 = \frac{\text{total (c)}}{\text{total (a)}} = 0.0737$$

$$D50 = 678 \text{ microns}$$

$$\log Sg = 0.271 \quad Sg = 1.87$$