

Pierre Schuck  
Anne Dolivet  
Romain Jeantet

# Les poudres laitières et alimentaires

*Techniques d'analyse*



Editions  
**TEC**  
& **DOC**

*Lavoisier*



# **Les poudres laitières et alimentaires**

Techniques d'analyse



# Les poudres laitières et alimentaires

Techniques d'analyse

Pierre Schuck  
Anne Dolivet  
Romain Jeantet



11, rue Lavoisier  
75008 Paris

## Chez le même éditeur

*Génie des procédés appliqués à l'industrie laitière*

R. Jeantet, G. Brulé, G. Delaplace, 2<sup>e</sup> édition, 2011

*Concepts de génie alimentaire. Procédés associés et applications à la conservation des aliments*

L. Bazinet, F. Castaigne, 2011

*Les produits laitiers*

R. Jeantet, T. Croguennec, M. Mahaut, P. Schuck, G. Brulé, 2<sup>e</sup> édition, 2008

*Fondements physicochimiques de la technologie laitière*

T. Croguennec, R. Jeantet, G. Brulé, 2008

*Science des aliments. Biochimie – Microbiologie – Procédés – Produits*

*Volume 1 : stabilisation biologique et physico-chimique*

*Volume 2 : technologies des produits alimentaires*

R. Jeantet, T. Croguennec, P. Schuck, G. Brulé, 2006

*Génie industriel alimentaire.*

*Tome 1 : procédés physiques de conservation, 1997*

*Tome 2 : techniques séparatives, 2<sup>e</sup> édition, 2004*

P. Mafart, É. Béliard

*Technologie des pulvérulents dans les IAA*

J.-P. Melcion, J.-L. Ilari, 2003

*L'eau dans les aliments : aspects fondamentaux, signification dans les propriétés sensorielles des aliments et conduite des procédés*

M. Le Meste, D. Lorient, D. Simatos (coord.), 2002

*Rhéologie et analyse de texture des aliments*

A.-C. Roudot, 2001

*Conserver les aliments : comparaison des méthodes et des technologies*

J.-L. Roux, 1994

*Direction éditoriale : Emmanuel Leclerc*

*Édition : Élodie Lecoquerre*

*Mise en pages : Atelier SMB*

*Couverture : Isabelle Godenèche*

*Fabrication : Estelle Perez*



© LAVOISIER, 2012

ISBN : 978-2-7430-1419-3

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (20, rue des Grands Augustins, 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1<sup>er</sup> juillet 1992 - art. L 122-4 et L 122-5 et Code pénal art. 425).

# *Avant-propos*

La déshydratation des produits laitiers et alimentaires avait dès l'origine comme objectif principal de stabiliser ces produits afin d'en assurer le stockage et le report. Depuis les années 1970, la technique la plus employée pour la déshydratation des produits liquides alimentaires est le séchage par pulvérisation/atomisation. L'usage croissant de cette technique a été permis par le développement d'un savoir-faire industriel par empirisme raisonné, compte tenu du faible nombre de travaux scientifiques et techniques sur le sujet et notamment sur l'incidence des paramètres de séchage et des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques des concentrés sur la qualité des poudres obtenues. Une démarche plus rigoureuse basée sur des approches physico-chimiques et thermodynamiques s'est imposée aujourd'hui, du fait de la diversité et de la complexité des préparations à sécher. Elle repose notamment sur une meilleure connaissance biochimique des produits avant séchage, des transferts d'eau au cours du séchage, des propriétés des poudres et des facteurs d'influence.

Une poudre alimentaire ne se caractérise pas uniquement par sa teneur en extrait sec : elle possède des caractéristiques biochimiques (composition protéique, glucidique, lipidique et minérale), microbiologiques et physiques (*e.g.* masse volumique, air intra- et extra-vacuolaire, granulométrie, solubilité, dispersibilité, mouillabilité, écoulement, éboulement, hygroscopicité, etc.), qui seront largement abordées dans cet ouvrage. Ces caractéristiques dépendent des modes opératoires de la formulation (pré-mélange, co-séchage, mélange à sec, etc.), des paramètres physiques et thermodynamiques des différentes étapes de déshydratation (type de tour, mode d'atomisation, recyclage de fines, propriétés thermodynamiques de l'air – température, humidité relative, vitesse) et des caractéristiques du concentré avant pulvérisation (composition, physico-chimie et rhéologie, disponibilité de l'eau, etc.). Cet ensemble de propriétés détermine :

- l'aptitude à la conservation des poudres, c'est-à-dire leur sensibilité vis-à-vis de différents types d'altération (brunissement non enzymatique, oxydation, développement microbien, etc.) ;
- les propriétés d'usage des poudres (écoulement, solubilité, réhydratation, etc.) ;
- et plus généralement la qualité de la poudre, au plan fonctionnel, nutritionnel et sensoriel.

Aujourd'hui, la maîtrise de la qualité des poudres selon ses axes constitue un avantage concurrentiel majeur. Ceci implique toutefois de connaître l'ensemble des facteurs d'influence, qu'ils soient liés à la composition des produits ou aux technologies mises en œuvre. Un des verrous à la connaissance de l'impact de la composition et des conditions d'obtention sur les propriétés des produits déshydratés était pour une part importante d'ordre méthodologique et analytique. Les analyses physico-chimiques décrites dans la littérature sont en effet souvent issues de méthodes appliquées aux poudres laitières, donnant par suite des résultats insuffisants et souvent inadaptés car ne recouvrant qu'imparfaitement les nouvelles fonctionnalités recherchées.

Le développement de méthodes et techniques adaptées à l'analyse des poudres répond à ces attentes. Cet ouvrage apporte une contribution à cette stratégie globale en proposant un ensemble de mesures pertinentes pour la maîtrise du séchage et le contrôle de la qualité des poudres.

Après un chapitre général sur les procédés de déshydratation et leurs influences sur les propriétés des poudres obtenues (chapitre 1), il présente un ensemble d'outils et de méthodes biochimiques (chapitres 2 à 6) et physico-chimiques (chapitres 7 à 13) disponibles pour mieux caractériser les poudres et définir plus précisément leur cahier des charges. Ces outils et méthodes ont été décrits de façon précise en apportant des commentaires, des remarques et des propositions d'amélioration, de leur mise en œuvre à la formulation des résultats analytiques. Afin de renforcer le caractère illustratif de l'ouvrage, ces méthodes ont été enfin testées en triple sur :

- d'une part 10 poudres commerciales laitières, obtenues par séchage par pulvérisation :
  - lait écrémé,
  - lait à 26 % de matière grasse sur extrait sec (lait 26 % MG),
  - caséine micellaire obtenue par microfiltration de lait écrémé (caséine micellaire),
  - caséinates de calcium (caséinate de Ca) et de sodium (caséinate de Na) obtenus par neutralisation d'une caillebotte acide par de la chaux et de la soude, respectivement,
  - lactosérum doux de pâte pressée cuite (lactosérum) et lactosérum réengraissé à 40 % de matière grasse avec de l'huile de coprah (lactosérum 40 % MG),
  - perméat d'ultrafiltration de lait (perméat d'UF),
  - concentré de protéines à 35 % de protéine sur extrait sec obtenu par ultrafiltration de lactosérum (CPL 35),
  - isolat de protéines à 90 % de protéine sur extrait sec obtenu par ultrafiltration de microfiltrat de lait (IPL 90) ;

– et d’autre part 15 poudres alimentaires commerciales non laitières, obtenues par séchage par pulvérisation :

• maltodextrines à différents dextrose équivalents (DE) : 2 poudres à DE 12 (MD DE 12 (1) et (2)), une à DE 19 (MD DE 19) et une poudre de sirop de glucose à DE 39 (SG DE 39),

- des polyols, sorbitol et maltitol,
- des extraits de pomme (pomme (1) et (2)),
- des extraits de chicorée (chicorée (1) et (2)),
- des ovoproduits : œuf entier, jaune d’œuf et blanc d’œuf,
- une poudre de facteurs d’appétence pour *pet food* (*pet food*),
- de la gélatine.

Les résultats analytiques obtenus ont été discutés individuellement à la fin de chaque chapitre ; en fin d’ouvrage une analyse globale a été conduite afin de dégager les corrélations entre champs de propriétés étudiés (chapitre 14).

D<sup>r</sup> Pierre Schuck  
P<sup>r</sup> Romain Jeantet  
P<sup>r</sup> Gérard Brulé  
D<sup>r</sup> Jean-Louis Maubois



# Table des matières

<b>Avant-propos</b> .....	V
---------------------------	---

## Chapitre 1

### Procédés de déshydratation et influence sur les propriétés des poudres obtenues

1. Présentation générale des opérations .....	2
1.1. Concentration par évaporation .....	2
1.1.1. Principe de l'évaporation sous vide .....	3
1.1.2. Énergie .....	4
1.2. Séchage .....	7
1.2.1. Séchage par ébullition (cylindres chauffants) .....	8
1.2.2. Séchage par entraînement (pulvérisation) .....	9
2. Propriétés des produits déshydratés .....	17
2.1. Propriétés biochimiques et physico-chimiques .....	18
2.1.1. Teneur en eau .....	18
2.1.2. Disponibilité de l'eau .....	20
2.1.3. Modifications des protéines .....	28
2.2. Propriétés microbiologiques .....	28
2.3. Propriétés d'usage .....	29
2.3.1. Taille des particules et structure des poudres .....	29
2.3.2. Écoulement - éboulement .....	30
2.3.3. Masse volumique .....	30
2.3.4. Propriétés de réhydratation .....	32
Références bibliographiques .....	35

## Chapitre 2

### Détermination de l'extrait sec et de l'extrait sec total

1. Détermination de l'humidité libre ou de l'extrait sec . . . . .	37
1.1. Objet et domaine d'application . . . . .	37
1.2. Définition . . . . .	38
1.3. Principe . . . . .	38
1.4. Réactifs et autres produits . . . . .	38
1.5. Appareillage et verrerie . . . . .	38
1.6. Sécurité . . . . .	38
1.7. Mode opératoire . . . . .	38
1.7.1. Préparation de la capsule . . . . .	38
1.7.2. Préparation de l'échantillon pour essai . . . . .	39
1.7.3. Prise d'essai . . . . .	39
1.7.4. Détermination . . . . .	39
1.8. Expression des résultats . . . . .	39
1.9. Remarques . . . . .	40
1.9.1. Étuve . . . . .	40
1.9.2. Dessiccateur . . . . .	40
1.10. Valeurs de fidélité . . . . .	41
1.11. Exemples . . . . .	41
2. Détermination de l'humidité totale ou de l'extrait sec total . . . . .	42
2.1. Objet et domaine d'application . . . . .	42
2.2. Définition . . . . .	42
2.3. Principe . . . . .	42
2.4. Réactifs et autres produits . . . . .	42
2.5. Appareillage et verrerie . . . . .	42
2.6. Sécurité . . . . .	44
2.7. Mode opératoire . . . . .	44
2.7.1. Préparation de la zéolite . . . . .	44
2.7.2. Préparation du petit dessiccateur (j) . . . . .	44
2.7.3. Préparation de la capsule . . . . .	44
2.7.4. Préparation de l'échantillon pour essai . . . . .	44
2.7.5. Prise d'essai . . . . .	45
2.7.6. Détermination . . . . .	45
2.8. Expression des résultats . . . . .	45
2.9. Remarques . . . . .	46
2.9.1. Étuve . . . . .	46
2.9.2. Dessiccateur . . . . .	46
2.10. Valeurs de fidélité . . . . .	46
2.11. Rapport d'analyse . . . . .	47
2.12. Exemples . . . . .	47
Références bibliographiques . . . . .	48

## Chapitre 3

### Détermination des fractions azotées

1. Détermination de la teneur en azote total (méthode Kjeldahl) . . . . .	49
1.1. Objet et domaine d'application . . . . .	49
1.2. Définition . . . . .	50
1.3. Principe . . . . .	50
1.4. Réactifs et autres produits . . . . .	50
1.5. Appareillage et verrerie . . . . .	51
1.6. Sécurité . . . . .	52
1.6.1. Protection individuelle . . . . .	52
1.6.2. Toxicité des produits utilisés . . . . .	52
1.7. Mode opératoire . . . . .	52
1.7.1. Préparation de l'échantillon pour essai . . . . .	52
1.7.2. Prise d'essai et prétraitement . . . . .	52
1.7.3. Détermination . . . . .	53
1.7.4. Essai à blanc . . . . .	54
1.7.5. Essais de récupération . . . . .	54
1.8. Expression des résultats . . . . .	54
1.8.1. Calcul de la teneur en azote total . . . . .	54
1.8.2. Calcul de la teneur en protéines totales . . . . .	55
1.9. Valeurs de fidélité . . . . .	55
1.9.1. Répétabilité . . . . .	55
1.9.2. Reproductibilité . . . . .	55
1.10. Exemples . . . . .	55
1.11. Annexe . . . . .	56
1.11.1. Introduction . . . . .	57
1.11.2. Mode opératoire . . . . .	57
2. Détermination de la teneur en azote soluble à pH 4,60 . . . . .	58
2.1. Objet et domaine d'application . . . . .	58
2.2. Définition . . . . .	58
2.3. Principe . . . . .	58
2.4. Réactifs et autres produits . . . . .	58
2.5. Appareillage et verrerie . . . . .	59
2.6. Sécurité . . . . .	59
2.6.1. Protection individuelle . . . . .	59
2.6.2. Toxicité des produits utilisés . . . . .	59
2.7. Mode opératoire . . . . .	59
2.7.1. Préparation de l'échantillon pour essai . . . . .	59
2.7.2. Prise d'essai et détermination . . . . .	59
2.7.3. Essai à blanc . . . . .	60
2.8. Expression des résultats . . . . .	60
2.8.1. Calcul de la teneur en azote soluble à pH 4,6 . . . . .	60
2.8.2. Calcul de « l'équivalent protéines » . . . . .	61
2.9. Valeurs de fidélité . . . . .	61
2.10. Exemples . . . . .	61
2.11. Annexe . . . . .	62

2.11.1. Introduction. . . . .	62
2.11.2. Mode opératoire. . . . .	62
3. Détermination de la teneur en azote non protéique . . . . .	64
3.1. Objet et domaine d'application. . . . .	64
3.2. Définition. . . . .	64
3.3. Principe . . . . .	64
3.4. Réactifs et autres produits . . . . .	64
3.5. Appareillage et verrerie . . . . .	64
3.6. Sécurité . . . . .	65
3.6.1. Protection individuelle. . . . .	65
3.6.2. Toxicité des produits utilisés . . . . .	65
3.7. Mode opératoire. . . . .	65
3.7.1. Préparation de l'échantillon pour essai . . . . .	65
3.7.2. Prise d'essai et détermination . . . . .	65
3.7.3. Essai à blanc . . . . .	66
3.8. Expression des résultats . . . . .	66
3.8.1. Calcul de la teneur en azote non protéique. . . . .	66
3.8.2. Calcul de « l'équivalent protéines » . . . . .	67
3.9. Valeurs de fidélité. . . . .	67
3.9.1. Répétabilité . . . . .	67
3.9.2. Reproductibilité . . . . .	67
3.10. Exemples . . . . .	67
3.11. Annexe. . . . .	68
3.11.1. Introduction. . . . .	69
3.11.2. Mode opératoire. . . . .	69
4. Détermination de l'azote protéique de lactosérum non dénaturé dans la poudre de lait écrémé . . . . .	70
4.1. Objet et domaine d'application. . . . .	70
4.2. Définition. . . . .	70
4.3. Principe . . . . .	70
4.4. Expression des résultats . . . . .	70
4.5. Remarques. . . . .	71
4.6. Exemples . . . . .	71
5. Facteurs de conversion de l'azote en protéines en fonction de la composition en acides aminés : cas du lait et du soja . . . . .	72
5.1. Méthodes de détermination du facteur de conversion . . . . .	72
5.1.1. Détermination du facteur de conversion K selon la méthode de Kjeldahl . . . . .	72
5.1.2. Détermination du facteur de conversion K selon les profils d'acides aminés. . . . .	73
5.1.3. Détermination du facteur de conversion selon la séquence d'acides aminés des protéines . . . . .	73
5.2. Facteurs de conversion pour le lait, des protéines laitières spécifiques, quelques produits laitiers et formules infantiles . . . . .	73
5.2.1. Lait, protéines laitières et produits laitiers. . . . .	73
5.2.2. Formules infantiles laitières. . . . .	74
5.3. Facteurs de conversion pour le soja et ses dérivés . . . . .	75

5.4. Conclusions .....	76
Références bibliographiques .....	77

### *Chapitre 4*

#### **Détermination du taux de cristallisation du lactose**

1. Définitions .....	80
2. Principe .....	80
3. Expression des résultats .....	80
4. Remarques .....	81
5. Exemples .....	81
Références bibliographiques .....	82

### *Chapitre 5*

#### **Détermination de la teneur en matière grasse totale et libre**

1. Détermination de la teneur en matière grasse totale .....	84
1.1. Objet et domaine d'application .....	84
1.2. Définition .....	84
1.3. Principe .....	84
1.4. Réactifs et autres produits .....	85
1.5. Appareillage et verrerie .....	85
1.6. Sécurité .....	86
1.6.1. Protection individuelle .....	86
1.6.2. Toxicité des produits utilisés .....	86
1.7. Mode opératoire .....	86
1.7.1. Préparation de l'échantillon à partir de poudre .....	86
1.7.2. Préparation de l'échantillon pour l'analyse .....	86
1.7.3. Prise d'essai et réactifs .....	86
1.7.4. Dissolution des protéines .....	87
1.7.5. Centrifugation .....	87
1.7.6. Lecture .....	87
1.7.7. Entretien des butyromètres .....	88
1.8. Expression des résultats .....	88
1.9. Remarques .....	89
1.10. Valeurs de fidélité .....	89
1.10.1. Répétabilité .....	89
1.10.2. Reproductibilité .....	89
1.11. Exemples .....	89
2. Détermination de la teneur en matière grasse libre .....	90
2.1. Objet et domaine d'application .....	90
2.2. Définition .....	90
2.3. Principe .....	90
2.4. Réactifs et autres produits .....	90
2.5. Appareillage et verrerie .....	90
2.6. Sécurité .....	91

2.7. Mode opératoire . . . . .	91
2.7.1. Préparation du matériel . . . . .	91
2.7.2. Préparation de l'échantillon pour l'analyse . . . . .	91
2.7.3. Prise d'essai et réactifs . . . . .	91
2.8. Expression des résultats . . . . .	91
2.9. Remarques . . . . .	92
2.10. Valeurs de fidélité . . . . .	92
2.10.1. Répétabilité . . . . .	92
2.10.2. Reproductibilité . . . . .	92
2.11. Rapport d'analyse . . . . .	92
2.12. Exemples . . . . .	93
Références bibliographiques . . . . .	93

## *Chapitre 6*

### **Détermination de la teneur en cendres**

1. Définitions . . . . .	95
2. Principe . . . . .	96
3. Appareillage et verrerie . . . . .	96
4. Protection individuelle . . . . .	96
5. Mode opératoire . . . . .	96
5.1. Préparation de l'échantillon pour essai . . . . .	96
5.2. Préparation du creuset . . . . .	96
5.3. Prise d'essai . . . . .	97
5.4. Détermination . . . . .	97
6. Expression des résultats . . . . .	97
7. Valeurs de fidélité . . . . .	98
8. Exemples . . . . .	98
Références bibliographiques . . . . .	99

## *Chapitre 7*

### **Détermination de la granulométrie et de la friabilité**

1. Définition . . . . .	101
2. Principe . . . . .	101
3. Méthodes . . . . .	101
3.1. Granulométrie par tamisage . . . . .	102
3.2. Granulométrie laser . . . . .	102
4. Réactifs et autres produits . . . . .	102
5. Appareillage et verrerie . . . . .	102
5.1. Granulométrie par tamisage . . . . .	102
5.2. Granulométrie laser . . . . .	102
6. Protection individuelle . . . . .	103
7. Mode opératoire . . . . .	103
7.1. Granulométrie par tamisage . . . . .	103
7.2. Granulométrie laser . . . . .	103

8. Expression des résultats . . . . .	103
8.1. Granulométrie par tamisage . . . . .	103
8.2. Granulométrie laser . . . . .	104
8.3. Friabilité . . . . .	104
9. Remarques . . . . .	105
10. Valeurs de fidélité . . . . .	105
11. Exemples . . . . .	106
Références bibliographiques . . . . .	108

## Chapitre 8

### Détermination des indices d'écoulement et d'éboulement

1. Définition . . . . .	109
1.1. Écoulement – Fluidité . . . . .	109
1.2. Éboulement – Déferlement . . . . .	110
2. Principe . . . . .	110
2.1. Écoulement – Fluidité . . . . .	110
2.2. Éboulement – Déferlement . . . . .	110
3. Réactifs et autres produits . . . . .	110
4. Appareillage et verrerie . . . . .	110
5. Mode opératoire . . . . .	112
5.1. Écoulement – Fluidité . . . . .	112
5.1.1. Angle de talus ( $\alpha_T$ ou angle de repos) . . . . .	112
5.1.2. Compressibilité (C) . . . . .	112
5.1.3. Angle de spatule ( $\alpha_S$ ) . . . . .	114
5.1.4. Cohésion ( $C_o$ ) . . . . .	114
5.1.5. Détermination de l'uniformité (U) . . . . .	115
5.2. Éboulement – Déferlement . . . . .	115
5.2.1. Angle de chute ( $\alpha_C$ ) . . . . .	115
5.2.2. Différence d'angle ( $\alpha_D$ ) . . . . .	115
5.2.3. Dispersibilité ( $D_{air}$ ) . . . . .	116
6. Expression des résultats . . . . .	116
6.1. Écoulement – Fluidité . . . . .	116
6.2. Éboulement – Déferlement . . . . .	116
7. Remarques . . . . .	116
8. Valeurs de fidélité . . . . .	119
9. Exemples . . . . .	119
Références bibliographiques . . . . .	122

## Chapitre 9

### Détermination de la masse volumique, de la teneur en air interstitiel et de la teneur en air occlus

1. Définition . . . . .	124
2. Principe . . . . .	124

3. Méthodes . . . . .	124
3.1. Masse volumique apparente ( $\rho_A$ ) et masse volumique tassée ( $\rho_T$ ). . . . .	124
3.2. Masse volumique vraie ( $\rho_V$ ) . . . . .	124
4. Appareillage et verrerie . . . . .	124
4.1. Masse volumique apparente ( $\rho_A$ ) et masse volumique tassée ( $\rho_T$ ). . . . .	125
4.2. Masse volumique vraie ( $\rho_V$ ) . . . . .	125
5. Protection individuelle . . . . .	125
6. Mode opératoire . . . . .	125
6.1. Masse volumique apparente ( $\rho_A$ ) et masse volumique tassée ( $\rho_T$ ). . . . .	125
6.2. Masse volumique vraie ( $\rho_V$ ) . . . . .	126
7. Expression des résultats. . . . .	126
7.1. Masse volumique apparente ( $\rho_A$ ). . . . .	126
7.2. Masse volumique tassée ( $\rho_T$ ). . . . .	126
7.3. Masse volumique vraie ( $\rho_V$ ) . . . . .	126
7.4. Air interstitiel (AI) . . . . .	127
7.5. Air occlus (AO). . . . .	127
8. Remarques . . . . .	127
9. Valeurs de fidélité . . . . .	128
10. Exemples. . . . .	128
Références bibliographiques . . . . .	131

## *Chapitre 10*

### **Détermination de la couleur et de l'aspect**

1. Détermination de la couleur. . . . .	133
1.1. Définitions . . . . .	133
1.2. Principe . . . . .	136
1.3. Appareillage et verrerie . . . . .	136
1.4. Mode opératoire. . . . .	137
1.4.1. Préparation de l'échantillon pour essai . . . . .	137
1.4.2. Mesure . . . . .	137
1.5. Expression des résultats . . . . .	138
1.6. Valeurs de fidélité. . . . .	138
1.7. Exemples . . . . .	138
2. Détermination de la présence de particules brûlées. . . . .	140
2.1. Définition. . . . .	140
2.2. Principe . . . . .	140
2.3. Appareillage et verrerie . . . . .	140
2.4. Réactif . . . . .	141
2.5. Protocole . . . . .	141
2.6. Expression des résultats . . . . .	141
2.7. Valeurs de fidélité. . . . .	141
2.8. Remarques. . . . .	142
2.9. Exemples . . . . .	142
Références bibliographiques . . . . .	143

## Chapitre 11

Détermination de l'activité d'eau, de l'isotherme de sorption  
et de l'hygroscopicité des poudres

1. Détermination de l'activité d'eau . . . . .	145
1.1. Définition . . . . .	145
1.2. Principe . . . . .	146
1.3. Méthode . . . . .	147
1.3.1. Hygromètres électriques : méthode de la mesure de l'HRE . . .	147
1.3.2. Hygromètre à miroir : méthode de la mesure du point de rosée . . . . .	147
1.4. Appareillage et verrerie . . . . .	147
1.5. Protection individuelle . . . . .	147
1.6. Mode opératoire . . . . .	148
1.7. Expression des résultats . . . . .	148
1.8. Remarques . . . . .	148
1.9. Valeurs de fidélité . . . . .	148
1.10. Exemples . . . . .	149
2. Détermination de l'isotherme de sorption . . . . .	150
2.1. Définition . . . . .	150
2.2. Principe . . . . .	150
2.3. Méthode . . . . .	150
2.3.1. Méthode statique . . . . .	150
2.3.2. Méthode dynamique . . . . .	151
2.4. Réactifs et autres produits . . . . .	152
2.5. Appareillage et verrerie . . . . .	152
2.5.1. Méthode statique . . . . .	152
2.5.2. Méthode dynamique . . . . .	152
2.6. Protection individuelle . . . . .	152
2.7. Mode opératoire . . . . .	152
2.7.1. Préparation de l'échantillon pour essai . . . . .	152
2.7.2. Prise d'essai . . . . .	152
2.7.3. Détermination . . . . .	153
2.8. Expression des résultats . . . . .	153
2.9. Remarques . . . . .	153
2.10. Valeurs de fidélité . . . . .	154
2.11. Exemples . . . . .	154
3. Détermination de l'hygroscopicité . . . . .	160
3.1. Définition . . . . .	160
3.2. Principe . . . . .	160
3.3. Réactifs et autres produits . . . . .	160
3.4. Appareillage et verrerie . . . . .	160
3.5. Protection individuelle . . . . .	160
3.6. Mode opératoire . . . . .	160
3.6.1. Préparation de l'échantillon pour essai . . . . .	160
3.6.2. Prise d'essai . . . . .	160
3.6.3. Détermination . . . . .	161

3.7. Expression des résultats . . . . .	161
3.8. Remarques . . . . .	162
3.9. Valeurs de fidélité . . . . .	162
3.10. Exemples . . . . .	163
Références bibliographiques . . . . .	164

### *Chapitre 12*

#### **Détermination de la plage de température de transition vitreuse**

1. Définition . . . . .	167
2. Principe . . . . .	168
3. Méthodes . . . . .	168
3.1. L'analyse calorimétrique différentielle . . . . .	168
3.2. Méthode rhéologique . . . . .	168
4. Appareillage et verrerie . . . . .	169
4.1. Calorimétrie différentielle . . . . .	169
4.2. Méthode rhéologique . . . . .	169
5. Protection individuelle . . . . .	169
6. Mode opératoire . . . . .	170
6.1. Calorimétrie différentielle . . . . .	170
6.2. Méthode rhéologique . . . . .	170
7. Expression des résultats . . . . .	171
7.1. Calorimétrie différentielle . . . . .	171
7.2. Méthode rhéologique . . . . .	171
8. Remarques . . . . .	172
9. Valeurs de fidélité . . . . .	173
10. Exemples . . . . .	173
Références bibliographiques . . . . .	175

### *Chapitre 13*

#### **Détermination de l'aptitude à la réhydratation**

1. Détermination de la mouillabilité . . . . .	177
1.1. Définition . . . . .	177
1.2. Principe . . . . .	178
1.3. Appareillage et verrerie . . . . .	178
1.4. Mode opératoire . . . . .	178
1.5. Expression des résultats . . . . .	178
1.6. Remarques . . . . .	178
1.7. Valeurs de fidélité . . . . .	179
1.8. Exemples . . . . .	179
2. Détermination de la dispersibilité . . . . .	179
2.1. Définition . . . . .	179
2.2. Principe . . . . .	180
2.3. Appareillage et verrerie . . . . .	181

2.4. Mode opératoire . . . . .	181
2.5. Expression des résultats . . . . .	181
2.6. Remarques . . . . .	182
2.7. Valeurs de fidélité . . . . .	182
2.8. Exemples . . . . .	182
3. Détermination de la solubilité . . . . .	182
3.1. Définition . . . . .	182
3.2. Principe . . . . .	183
3.3. Réactifs et autres produits . . . . .	184
3.4. Appareillage et verrerie . . . . .	184
3.5. Mode opératoire . . . . .	184
3.6. Expression des résultats . . . . .	185
3.7. Remarques . . . . .	185
3.8. Valeurs de fidélité . . . . .	185
3.9. Exemples . . . . .	186
Références bibliographiques . . . . .	187

### Chapitre 14

## Synthèse et conclusion générale

Index . . . . .	199
-----------------	-----

La diversité et la complexité des produits laitiers et alimentaires déshydratés impliquent une bonne connaissance des produits avant séchage, des transferts d'eau au cours du séchage, des propriétés des poudres et des facteurs d'influence, qu'ils soient liés à la composition des produits ou aux technologies mises en œuvre. Ainsi, afin de parvenir à la maîtrise des procédés de séchage et de la qualité des poudres obtenues, il est nécessaire de développer des méthodes et des techniques d'analyse adaptées à tous les types de poudres.

Reposant sur une approche innovante, cet ouvrage propose une étude approfondie des différentes méthodes d'analyse des poudres laitières et alimentaires, et présente un ensemble de mesures pertinentes pour la maîtrise du séchage et le contrôle de la qualité des poudres.

Tout d'abord, les procédés de déshydratation sont décrits ainsi que leur influence sur les propriétés des poudres obtenues. Puis, testée sur 25 poudres laitières et alimentaires et en triple de manière à pouvoir indiquer une moyenne accompagnée de son écart type, chaque technique d'analyse est présentée en détail (objectif, définition, principes, réactifs, matériels, sécurité, méthode, expression des résultats, commentaires, données statistiques, bibliographie, exemples). On retrouve notamment :

- les méthodes biochimiques : teneur en protéines, caséines, protéines solubles, lactose (avec taux de cristallisation), matière grasse, matière grasse libre, cendres, eau libre et liée... ;
- les méthodes physiques : activité de l'eau, transition vitreuse, sorption, hygroscopicité, solubilité, dispersibilité, mouillabilité, écoulement, éboulement, masse volumique (apparente, vraie et tassée), air occlus, air interstitiel, couleur, profil granulométrique, friabilité.

**Cet ouvrage s'adresse aux techniciens et ingénieurs de l'industrie alimentaire et laitière, aux fabricants de poudres et d'ingrédients alimentaires, aux responsables de production, aux responsables de laboratoires d'analyses, aux responsables qualité et R&D. Il sera également utile aux étudiants des filières agroalimentaires.**

**Pierre Schuck** est ingénieur de recherche à INRA-Agrocampus Ouest, UMR 1253 Science et technologie du lait et de l'œuf (Rennes).

**Anne Dolivet** est technicienne de recherche à INRA-Agrocampus Ouest, UMR 1253 Science et technologie du lait et de l'œuf (Rennes).

**Romain Jeantet** est professeur en génie des procédés alimentaires à Agrocampus Ouest-INRA, UMR 1253 Science et technologie du lait et de l'œuf (Rennes).

[www.lavoisier.fr](http://www.lavoisier.fr)



978-2-7430-1419-3