



Les 7 fonctions de l'emballage

PATRICE DOLE
Coordonnateur



SCIENCES & TECHNIQUES AGROALIMENTAIRES (STAA)

Directrice de collection : Marie-Noëlle Bellon-Fontaine, professeur, AgroParisTech (Massy)

Membres du conseil scientifique :

Thierry Bénézech, directeur de recherche, INRA (Villeneuve d'Ascq)

Véronique Bosc, maître de conférences, AgroParisTech (Massy)

Pascal Garry, chercheur, Ifremer (Nantes)

Christophe Hermon, directeur régional du pôle Ouest du CTCPA (Nantes)

Jean-Louis Multon, président de la Société scientifique d'hygiène alimentaire (SSHA, Paris)

Murielle Naïtali, maître de conférences, AgroParisTech (Massy)

Dans la même collection

Risques microbiologiques alimentaires, par M. Naïtali, L. Guillier, F. Dubois-Brissonnet (coord.), 2017

Conception hygiénique de matériel et nettoyage-désinfection pour une meilleure sécurité en industrie agroalimentaire, par M.-N. Bellon-Fontaine, T. Bénézech, K. Boutroux, C. Hermon (coord.), 2016

Traité pratique de droit alimentaire, par J.-L. Multon, H. Temple, J.-L. Viruéga (coord.), 2013

La couleur des aliments – De la théorie à la pratique, par M. Jacquot, P. Fagot, A. Voilley (coord.), 2012

Science et technologie de l'œuf – Production et qualité, volume 1, par F. Nau, C. Guérin-Dubiard, F. Baron, J.-L. Thapon † (coord.), 2010

Science et technologie de l'œuf – De l'œuf aux ovoproduits, volume 2, par F. Nau, C. Guérin-Dubiard, F. Baron, J.-L. Thapon † (coord.), 2010

Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires, 4^e éd., par B. de Reynal, J.-L. Multon (coord.), 2009

Évaluation sensorielle – Manuel méthodologique, 3^e éd., par F. Depledt, SSHA (coord.), 2009

Bactéries lactiques – De la génétique aux ferments, par G. Corrieu, F.-M. Luquet (coord.), 2008

Les polyphénols en agroalimentaire, par P. Sarni-Manchado, V. Cheynier (coord.), 2006

La spectroscopie infrarouge et ses applications analytiques, 2^e éd., par B. Bertrand, E. Dufour (coord.), 2006

Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires, 2^e éd., par R. Moletta (coord.), 2006

Analyse des risques alimentaires, par M. Feinberg, P. Bertail, J. Tressou, P. Verger (coord.), 2006

Bactéries lactiques et probiotiques, par F.-M. Luquet, G. Corrieu (coord.), 2005

Risques et crises alimentaires, par C. Lahellec (coord.), 2005

Retrouvez tous les titres de la collection sur notre site : editions.lavoisier.fr

Pour plus d'informations sur nos publications :



SCIENCES & TECHNIQUES

AGROALIMENTAIRES



PATRICE DOLE

Les 7 fonctions de l'emballage

L*avoisier*
TEC & DOC

editions.lavoisier.fr

Direction éditoriale : Fabienne Roulleaux
Édition : Élodie Lecoquerre
Couverture : Isabelle Godenèche
Fabrication : Estelle Perez
Mise en pages : STDI, Lassay-Les-Châteaux

LISTE DES AUTEURS

Coordonnateur

Patrice Dole

Docteur ès sciences habilité à diriger des recherches
Directeur de laboratoire, CTCPA, Bourg-en-Bresse

Auteurs

Mohamed Naceur Belgacem

Habilitation à diriger des recherches
Professeur des universités, Grenoble INP-Pagora, Saint Martin d'Hères

Anne Blayo

Docteur INPG habilité à diriger des recherches
Enseignant-chercheur, Grenoble INP-Pagora, Saint Martin d'Hères

Jean-Francis Bloch

Docteur ès sciences habilité à diriger des recherches
Enseignant-chercheur, université de Grenoble, Grenoble

Sophie Bonnier

Ingénieur du Génie rural des eaux et forêts
Responsable Écoconception, Citeo, Paris

Patrice Buche

Habilitation à diriger des recherches de l'université Paris Sud Orsay
Ingénieur de recherche, INRA, Montpellier

Yvan Chalamet

Professeur des universités, université Jean Monnet, Saint-Étienne

Pascale Chalier

Docteur ès sciences
Maître de conférences, université de Montpellier, Montpellier

Florence Charles

Docteur en sciences des aliments
Maître de conférences en post-récolte et physiologie végétale, université d'Avignon, Avignon

Amandine Cottaz

Ingénieur d'études, laboratoire BioDyMIA, université Claude Bernard Lyon 1, Bourg-en-Bresse

Pascal Degraeve

Docteur ès sciences et ingénieur INSA Toulouse
Professeur des universités HDR, IUT Lyon 1, Bourg-en-Bresse

Laetitia Doly

Ingénieur chimiste/écotoxicologue
Chargée de mission risques sanitaires, société Bio-Tox, Talence

Sandra Domenek

Docteur ès sciences
Enseignant-chercheur, AgroParisTech, Massy

Alexandre Feigenbaum

Docteur ès sciences
Directeur de recherche, laboratoire Risk assessment and compliance of Food Contact Materials, Rishon Lezayon, Israël

Emmanuelle Font

Ingénieur
Coordinatrice R&D, pôle Chimie et physico-chimie des matériaux, Laboratoire national de métrologie d'essais (LNE), Trappes

Muriel Genin

Dirigeante, société Foodaly, Curis au Mont d'Or

Maryon Ginisty-Pailleux

Docteur en chimie organique
Consultante Affaires réglementaires et stratégie industrielle, EcoMundo, Issy-Les-Moulineaux

Nathalie Gontard

Professeur
Directeur de recherche, INRA, université de Montpellier, Montpellier

Valérie Guillard

Docteur ès sciences
Maître de conférences, membre de l'Institut universitaire de France (2016-2021), université de Montpellier, Montpellier

Carole Guillaume[†]

Docteur ès sciences
Maître de conférences, université de Montpellier, Montpellier

Muriel Jacquot

Docteur ès sciences, habilité à diriger des recherches
Maître de conférences, laboratoire InnoCIM-ENSAIA, université de Lorraine, Vandœuvre-lès-Nancy

Catherine Joly

Docteur ès sciences (matériaux polymères)
Maître de conférences, IUT de Lyon, Bourg-en-Bresse

Jean Mario Julien

Docteur ès sciences (matériaux polymères plastiques)
Ingénieur R&D, Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE), Trappes

Cécile Lacoste

Docteur en sciences et technologie des aliments
Chef de projet, CTCPA, Bourg-en-Bresse

Bénédicte Larinier

DESS Administration des entreprises
Responsable documentaire, CTCPA, Avignon

Pascal Launay

Ingénieur
Ingénieur d'essai, Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE), Trappes

Jan Le Moux

Ingénieur agronome AgroParisTech
Directeur Économie circulaire et politiques produits, COPACEL, Paris

Léa Nehmé

Docteur en Procédés biotechnologiques et alimentaires
Laboratoire LIBio-ENSAIA, université de Lorraine, Vandœuvre-lès-Nancy

Stéphane Neveu

Responsable technico-commercial, Laboratoire national de métrologie d'essais (LNE),
Trappes

Mai Nguyen

Docteur et ingénieur
Ingénieur de recherche, INRA, AgroParisTech, Massy

Nadia Oulahal

Docteur ès sciences
Maître de conférences habilité à diriger des recherches, laboratoire BIODyMIA,
IUT Lyon 1, Bourg-en-Bresse

Annie Perrin

Chef d'unité Emballages
CTCPA, Bourg-en-Bresse

Daniel Ribera

Docteur de l'université de Bordeaux I
Toxicologue, société Ter-A, Talence

Anne-Marie Riquet

Docteur en BIA
Chargée de recherche habilitée à diriger des recherches, INRA, Massy

Philippe Saillard

Master de chimie analytique
Responsable de l'unité Alimentarité, CTCPA, Bourg-en-Bresse

Jacques Thebault

Ingénieur agroalimentaire
Directeur/gérant, société 3S'inPACK, Aubière

Olivier Vitrac

Docteur ENSIA et ingénieur ENSBANA
Chargé de recherche, INRA, AgroParisTech, Massy

François Zuber

Ingénieur, docteur ès sciences
Directeur scientifique du CTCPA, Avignon

LISTE DES SIGLES, ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

AB	Agriculture biologique
ACV	Analyse de cycle de vie
Ademe	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
Anses	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AOC	Appellation d'origine contrôlée
AOP	Appellation d'origine protégée
APET	Polyéthylène téréphtalate amorphe
ATR	<i>Attenuated Total Reflectance</i> (réflectance totale atténuée)
BADGE	<i>Diglycidyl ether of bisphenol A</i>
BEE	Bilan environnement des emballages
BIF	<i>Barrier Improvement Factor</i> (facteur d'amélioration des propriétés barrières)
BMD	Benchmark dose
BOPP	Polypropylène bi-orienté
BP	Basse pression
BPA	Bisphénol A
BPH	Bonnes pratiques d'hygiène
BPL	Bonnes pratiques de laboratoire
BTX	Benzène, toluène, xylène
CCP	Points critiques pour la maîtrise
CdCA	Cahier des charges achats
CdCF	Cahier des charges fonctionnel
CEREC	Comité d'évaluation de la recyclabilité des emballages papier carton
CET	Centre d'enfouissement technique
CIJ	<i>Continuous Ink Jet</i> (jet d'encre continu dévié)
CLR	Combustible liquide de récupération
CM	Centre de masse
COT	Carbone organique total
CoTREP	Comité technique pour le recyclage des emballages plastiques
CPET	PET cristallin
CSEMP	Chambre syndicale des emballages en matière plastique
CSR	Combustible solide de récupération
DDM	Date de durabilité minimale
DGAL	Direction générale de l'alimentation
DGCCRF	Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes
DIB	Déchets industriels banals
DJA	Dose journalière admissible
DLC	Date limite de consommation
DLUO	Date limite d'utilisation optimale
DMA	<i>Dynamic Mechanical Analysis</i> (analyse mécanique dynamique)
DOD	<i>Drop On Demand</i> (goutte à la demande)

- DSC *Differential Scanning Calorimetry* (calorimétrie différentielle à balayage)
- DVM Durée de vie microbiologique
- DVS Dose virtuelle de sécurité
- EAM Emballage sous atmosphère modifiée
- EDA *European Dairy Association*
- EDO Équation différentielle ordinaire
- EFFCA *European Food and Feed Cultures Association*
- EFSA Autorité européenne de sécurité des aliments
- ESBO Huile de soja époxydée
- EVOH Éthylène alcool vinylique
- FDA *Food and Drug Administration*
- FDCA Acide furandicarboxylique
- FFS *Form/Fill/Seal*
- FL Fruits et légumes
- GBPH Guide de bonnes pratiques d'hygiène
- GC-MS Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse
- GES Gaz à effet de serre
- GIEC Groupe intergouvernemental d'experts sur le climat
- HACCP *Hazard Analysis Critical Control Points* (Analyse des dangers. Points critiques pour leur maîtrise)
- HDPE Polyéthylène haute densité
- HIPS High impact polystyrène
- HMF 5-hydroxyméthylfurfural
- HP Haute pression
- HPLC-DAD Chromatographie en phase liquide couplée à la détection barrettes de diodes
- HPLC-MS Chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse
- HTST *High Temperature/Short Time*
- IAA Industrie agroalimentaire
- ICMSF *International Commission of Microbiological Specification for Foods*
- IDF *International Dairy Federation*
- IEA *International Ergonomics Association*
- IGP Indication géographique protégée
- ILHDE Impulsions lumineuses à haute densité énergétique
- InVS Institut de veille sanitaire
- IR Infrarouge *ou* Intensité respiratoire
- IRTF Analyse infrarouge à transformée de Fourier
- IV Viscosité intrinsèque
- LCA *Life Cycle Assessment* (analyse de cycle de vie)
- LDPE Polyéthylène basse densité
- LLDPE Polyéthylène à basse densité linéaire
- LMS Limite de migration spécifique
- LTSL *Low Temperature Sealing Layer* (couche de scellage à basse température)
- MAP *Modified Atmosphere Packaging* (emballage sous atmosphère modifiée)

MCDA	Matériaux au contact des denrées alimentaires
MEK	<i>Methyl Ethyl Ketone</i>
MG	Migration globale
MM	Masse molaire
MS	Migration spécifique
MVTR	<i>Moisture Vapor Transmission Rate</i> (taux de transfert de vapeur d'eau)
NIAS	<i>Non-Intentionally Added Substances</i> (composés ajoutés non intentionnellement)
NOAEL	<i>No Observed Adverse Effect</i> (dose sans effet néfaste)
OCDE	Organisation de coopération et de développement économique
OGM	Organisme génétiquement modifié
OMS	Organisation mondiale de la Santé
OPP	Polypropylène orienté
OTR	<i>Oxygen Transmission Rate</i> (taux de transmission de l'oxygène)
PA	Polyamide
PBPK	<i>Physiologically Based Pharmacokinetic model</i> (modèle physiologique pharmacocinétique)
PBS	Poly(butylène succinate)
PC	Polycarbonate
PCI	Pouvoir calorifique inférieur
PE	Polyéthylène
PEBD (PEbd)	Polyéthylène basse densité
PEbdl	Polyéthylène basse densité linéaire
PEF	Polyéthylène furanoate
PEHD (PEhd)	Polyéthylène haute densité
PEN	Polyéthylène naphthalate
PEO	Polyéthylène oxide
PET	Polytéréphtalate d'éthylène
PGC	Produits de grande consommation
PHA	Polyhydroxyalcanoate
PLA	Acide polylactique
PMS	Plan de maîtrise sanitaire
PNRPE	Programme national de recherche sur les perturbateurs endocriniens
PP	Polypropylène
PRP	Programmes prérequis
PRPo	Programmes prérequis opérationnels
PS	Polystyrène
PSA	Produits salés apéritifs
PVC	Polychlorure de vinyle
PVDC	Chlorure de polyvinylidène
PVOH	Alcool polyvinylique
QPS	<i>Qualified Presumption of Safety</i> (présomption d'innocuité reconnue)
QSAR	<i>Quantitative Structure-Activity Relationship</i> (modèle structure/activité quantitatif)
REP	Responsabilité élargie du producteur
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i> (identification par radiofréquence)
RHF	Restauration hors foyer
SASE	Substance active sur le système endocrinien

SBS	Poly(styrène-butadiène-styrène)
SNFBM	Syndicat national des fabricants de boîtes métalliques
SOHO	<i>Small Office Home Office</i> (bureautique)
SRF	<i>Surface Reduction Factor</i> (facteur de réduction de surface)
SSP	<i>Solid State Polymerization</i> (polymérisation à l'état solide)
STG	Spécialité traditionnelle garantie
THT	Thermophiles hautement thermorésistants
TR	<i>Transmission rate</i> (taux de transmission)
TTC	Méthode du seuil de préoccupation toxicologique
TTI	Indicateurs temps température
UHT	Ultra haute température
UIOM	Unité d'incinération d'ordures ménagères
UNEP	Programme des Nations unies pour l'environnement
UV	Ultraviolet
UVA	Ultraviolet A
UVB	Ultraviolet B
UVE	Unité de valorisation énergétique
VSPH	Vapeur sèche de peroxyde d'hydrogène
VTR	Valeur toxicologique de référence
WVTR	<i>Water Vapor Transmission Rate</i> (taux de transfert à la vapeur d'eau)
ZP	Zone de préhension

SOMMAIRE

Liste des auteurs	V
Liste des sigles, abréviations et acronymes	IX
Introduction	1

Préserver la qualité de l'aliment

CHAPITRE 1

Prévenir la pénétration de l'oxygène (Annie Perrin, Catherine Joly)	5
1. Les produits concernés	5
2. L'importance du système emballage/produit sur la conservation	6
3. Les emballages barrières à l'oxygène	6
4. Les propriétés barrières de l'emballage dans la pratique	8
5. La prédiction de la date de durabilité minimale (DDM) d'un produit sensible à l'oxygène	9

CHAPITRE 2

Limiter la perte d'eau ou l'hydratation des aliments (Catherine Joly)	11
1. Les produits concernés	11
2. Les matériaux barrières à l'eau	12
2.1. Les polyoléfines, barrières de solubilité	12
2.2. Le cas de l'OPP	12
2.3. Le PET et les autres matériaux plastiques barrières de diffusion	12
2.4. Les barrières métalliques	13

CHAPITRE 3

Prévenir l'altération à la lumière (Annie Perrin)	17
1. La photosensibilité des produits alimentaires	17
2. Les lumières utilisées dans les linéaires en grande distribution	17
2.1. La lumière solaire	18
2.2. La lumière dans les linéaires ou présentoirs des magasins	18
3. Les emballages et les propriétés barrières à la lumière	19

CHAPITRE 4

Contrôler les échanges de respiration (Florence Charles)	23
1. Définition et mesure de la respiration	23
2. Pourquoi emballer des produits qui respirent ?	24
3. Mise en place et optimisation des EAM	25
3.1. Différents types de films utilisés	25
3.2. Modélisation des transferts de gaz	26
4. Conclusion	28

CHAPITRE 5

Limiter la maturation ou le vieillissement grâce aux emballages actifs absorbent ou piègeurs (Pascale Chalier)	29
1. Absorbent d'oxygène	30
2. Absorbent de CO ₂	33

3. Absorbants d'humidité	34
4. Absorbants d'éthylène	34
CHAPITRE 6	
 limiter le piégeage et la perte des arômes (Catherine Joly)	37
1. Phénomène de transfert des arômes	37
2. Barrière de diffusion	38
3. Effets spécifiques de la solubilité	38
CHAPITRE 7	
 Bien comprendre les barrières de solubilité et les barrières de diffusion (Patrice Dole)	41
1. Le coefficient de perméabilité $Pe = DS$	41
2. La quantité perméée	42
3. Les barrières de solubilité	43
4. Les barrières de diffusion	44
5. Les barrières de diffusion et de solubilité	45
CHAPITRE 8	
 Bien comprendre le scellage (Patrice Dole)	47
1. Scellants	48
1.1. Résines de faible température de fusion	48
1.2. Vernis de basse T_g	48
2. Procédés	49
2.1. Thermoscellage sous pression	49
2.2. Thermoscellage à impulsions	49
2.3. Scellage à ultrasons	49
2.4. Scellage par induction	49
2.5. Scellage haute fréquence	49
3. Scellage et ouverture facile	50
4. Caractérisation	50
4.1. Sources de défauts de scellage	50
4.2. Caractérisation des scellants avant process	51
4.3. Caractérisation des épaisseurs de couches avant et après assemblage	52
4.4. Contrôle destructif	52
CHAPITRE 9	
 Bien comprendre les matériaux respirants (Patrice Dole)	55
1. Les emballages macro- et microperforés	55
2. Les emballages à perméabilité sélective	56
CHAPITRE 10	
 Bien comprendre les mesures de perméabilité aux gaz des matériaux d'emballage des aliments (Catherine Joly, Amandine Cottaz)	59
1. Les perméamètres : description des différents montages rencontrés pour la mesure des flux J	59
1.1. Montage 1	60
1.2. Montage 2	61
2. L'équation du flux et la perméabilité	62
3. Les unités, la perméance et la perméabilité	63

4. Les gammes de mesures des flux des perméamètres	65
5. Conclusion	66
ZOOMS	69
1. La viande bien rouge (Catherine Joly) 	

Prévenir le risque microbologique

CHAPITRE 11	
Réglementation (François Zuber)	73
1. Notion de date limite de consommation (DLC)	73
2. Contexte réglementaire	74
CHAPITRE 12	
Maîtrise de l'activité de l'eau (François Zuber, Catherine Joly)	79
1. Comportement des microorganismes vis-à-vis de la disponibilité de l'eau	79
2. Formulation d'un produit et activité de l'eau	80
3. Matériaux d'emballage et maintien de l' a_w	82
CHAPITRE 13	
Emballages pour congélation, conservation à froid, pasteurisation et appertisation (François Zuber, Catherine Joly)	83
1. Comportement des microorganismes vis-à-vis de la température	83
2. Comportement des matériaux d'emballage en fonction de la température	84
3. Matériaux d'emballage et congélation	86
4. Matériaux d'emballage et pasteurisation (ou conditionnement à chaud)	87
5. Matériaux d'emballage et appertisation	87
CHAPITRE 14	
Conditionnement sous atmosphère protectrice (François Zuber, Catherine Joly)	89
1. Comportement des microorganismes vis-à-vis de l'atmosphère au contact	91
2. Perméabilité des matériaux d'emballage et rétention de la composition en atmosphère modifiée	92
3. Combinaisons emballage/MAP/produits	94
CHAPITRE 15	
Conditionnement aseptique et décontamination préalable des emballages (François Zuber) ..	97
1. Conditionnement aseptique et décontamination préalable des emballages	97
1.1. Les principes, avantages et contraintes	97
1.2. Le conditionnement ultrapropre à chaud des aliments acides : « Hot Fill »	98
1.3. Le conditionnement ultrapropre de produits non acides pompables pasteurisés	100
1.4. Le conditionnement aseptique vrai	100
1.5. Les freins techniques et limites du conditionnement aseptique	101
2. Spécificité des emballages pour le conditionnement aseptique	102
3. Décontamination microbologique des emballages pour conditionnement aseptique	103
3.1. La décontamination chimique	103
3.2. La décontamination physique	104

CHAPITRE 16

Nouveaux procédés de décontamination des aliments et emballages spécifiques
(François Zuber) 107

1. Stabilisation des aliments par haute pression hydrostatique 107
 - 1.1. Décontamination microbiologique obtenue par l'application des hautes pressions 108
 - 1.2. Effet des hautes pressions sur les matrices alimentaires 109
 - 1.3. Applications et aliments concernés 109
 - 1.4. Spécificité des emballages pour les traitements par hautes pressions 110
 - 1.5. Effets du traitement haute pression sur la perméabilité et sur les phénomènes de migration 110
 - 1.6. Effets du traitement haute pression sur les propriétés mécaniques des emballages plastiques 113
2. Décontamination de la surface des aliments par lumière pulsée 114
 - 2.1. Action de la lumière pulsée sur les microorganismes 115
 - 2.2. Action de la lumière pulsée sur les matrices alimentaires 116
 - 2.3. Applications et aliments concernés 116

CHAPITRE 17

Limiter le risque microbiologique grâce aux emballages antimicrobiens (Pascale Chalier) 121

1. Les emballages modifiant l'environnement de l'aliment 122
 - 1.1. Les systèmes absorbeurs d'oxygène 122
 - 1.2. Les absorbeurs d'humidité 123
2. Les emballages contenant un agent antimicrobien 123
 - 2.1. Les relargueurs ou émetteurs d'éthanol 123
 - 2.2. Les relargueurs ou émetteurs de dioxyde de carbone 124
 - 2.3. Les émetteurs de dioxyde de soufre 125
 - 2.4. Les emballages à base d'ions métalliques 125
 - 2.5. Les emballages à base d'huiles essentielles 126

CHAPITRE 18

Donner des informations sur l'évolution des caractéristiques du produit : les emballages intelligents (Nathalie Gontard, Patrice Dole) 127

1. Les indicateurs de fraîcheur de l'aliment 128
2. Les indicateurs d'intégrité de l'emballage 128
3. Les « TTI », indicateurs temps température 128
4. Les capteurs d'humidité 129
5. Les capteurs O₂ et CO₂ 129
6. Les capteurs de marqueurs volatils 130
7. Les biocapteurs 130
8. Les capteurs couplés à une antenne RFID 131

CHAPITRE 19

Bien comprendre les aliments et les contaminants microbiologiques (François Zuber) 133

1. Les différents types d'aliments vis-à-vis de contaminants microbiologiques 133
 - 1.1. Les aliments par nature non périssables 133
 - 1.2. Les aliments initialement périssables 134
 - 1.3. Les aliments périssables, à l'origine humides, mais congelés 134
 - 1.4. Les aliments à comportement intermédiaire 134
2. Les contaminants microbiologiques 135
3. Le comportement des microorganismes 136

ZOOMS.....	141
1. La biopréservation (Nadia Oulahal) 	
2. La démarche HACCP (François Zuber) 	
3. L'effet « retort » (Patrice Dole) 	

Préserver l'intégrité de l'emballage et son contenu

CHAPITRE 20

Tests réalisés sur prélèvements d'emballages (Jean Mario Julien, Pascal Launay)	145
1. Résistance en traction ou en compression	145
1.1. Grandeurs caractéristiques	145
1.2. Mesure	148
1.3. Exemples	148
2. Tenue dimensionnelle lors d'un traitement en température	149
2.1. Retrait au moulage	150
2.2. Post-retrait	150
3. Rigidité	151
4. Résistance au poinçonnement	152
4.1. Grandeurs caractéristiques	153
4.2. Mesure	153

CHAPITRE 21


Tests réalisés sur emballages finis (Emmanuelle Font, Stéphane Neveu)	155
1. Les agressions et contraintes subies	155
2. La simulation en laboratoire	156
2.1. L'essai de gerbage	157
2.2. Les essais de compression statique	157
2.3. L'essai de vibration	157
2.4. L'essai de choc vertical par chute libre ou par basculement	158
2.5. Les essais de chocs horizontaux latéraux	158
2.6. Les contraintes climatiques	158

CHAPITRE 22

Phénomènes d'altération des emballages associés aux interactions contenu/contenant (Catherine Joly)	161
1. <i>Squeeze</i> et gonflement	161
1.1. Modification de la composition de l'espace de tête	162
1.2. Sorption de composés d'aliments	162
2. Post-cristallisation	163
3. Délamination	163
4. Fissurations sous contrainte ou <i>stress cracking</i>	164
5. Autres phénomènes	164
6. Tests de compatibilité	164





CHAPITRE 23

Optimisation du comportement mécanique des emballages (Patrice Dole)	167
1. Améliorer la résistance à rupture	167
1.1. Emballages en verre	167
1.2. Emballages plastiques	168

1.3. Emballages papiers cartons	168
2. Limiter les phénomènes de déformation irréversible	168
2.1. Boîtes métalliques	168
2.2. Bouteilles plastiques	169
3. Améliorer la rigidité	169
 CHAPITRE 24	
Bien comprendre le comportement thermomécanique des matériaux plastiques (Patrice Dole)	171
1. Structure (imagée) d'un polymère	171
2. Notion de cristallinité	172
3. Notion de T_g , T_m , T_f	173
4. Variation de la rigidité d'un matériau en fonction de la température	175
 CHAPITRE 25	
Bien comprendre les facteurs qui gouvernent la position de la transition vitreuse (Patrice Dole)	177
1. L'aptitude à la déformation du squelette moléculaire	177
2. L'aptitude à établir des interactions intermoléculaires	178
3. La plastification par les petites molécules	179
4. Les interactions aux interfaces	180
5. La cristallinité	180
6. Le temps	181
6.1. La superposition temps-température	181
6.2. Le vieillissement physique	182
ZOOMS	185
1. Le test des papiers cartons en humidité contrôlée (Jean-Francis Bloch) 	

Prévenir le risque chimique

 CHAPITRE 26	
Réglementation des matériaux au contact (Philippe Saillard, Patrice Dole)	191
1. Le règlement cadre et les réglementations spécifiques	191
1.1. Le règlement cadre	191
1.2. Les réglementations spécifiques	192
2. Les bases techniques des exigences réglementaires	193
2.1. Les exigences concernant la composition du matériau	193
2.2. Les tests d'inertie dans les conditions prévisibles d'emploi	193
2.3. Les NIAS (<i>Non-Intentionally Added Substances</i>)	195
2.4. La traçabilité	196
 CHAPITRE 27	
Prévenir le danger (Daniel Ribera, Laetitia Doly)	199
1. Une obligation réglementaire	199
2. Les dangers et risques	199
2.1. Définitions	199
2.2. Identification des dangers	200
2.3. Utilisation des données toxicologiques	200
2.4. Caractérisation du risque	201

3. L'évaluation des matières plastiques	202
3.1. Dossiers de demande d'autorisation d'emploi	202
3.2. Évolution des lignes directrices sur l'évaluation des matériaux au contact des aliments	202
3.3. Fixation des limites de migration spécifique	203
3.4. Méthodes alternatives	204
4. Le cas des NIAS	204
 CHAPITRE 28	
Limiter l'exposition (Patrice Dole)	207
1. Les facteurs limitant l'exposition aux migrants	207
1.1. Les facteurs cinétiques	207
1.2. Les facteurs thermodynamiques et bilans massiques	208
2. Le contrôle de l'exposition par les tests de migration	208
2.1. Règles de sélection du simulant	208
2.2. Règles de définition des conditions de contact pour le test de migration globale	210
2.3. Règles de définition des conditions de contact pour le test de migration spécifique	211
2.4. Règles et alternatives... ..	212
 CHAPITRE 29	
Bien comprendre la cinétique de migration (Patrice Dole)	215
1. Résolution de la cinétique de migration	215
1.1. État d'équilibre	215
1.2. Cinétique	215
1.3. Cinétique et effet température	216
2. Aspects thermodynamiques (la position du plateau de migration)	217
2.1. Coefficient de partage	217
2.2. Volumes relatifs de l'emballage et de l'aliment	217
2.3. Concentration initiale	217
3. Aspects cinétiques	218
3.1. Cinétique linéaire en $t^{0,5}$	218
3.2. Effet de l'épaisseur de l'emballage	219
3.3. Effet du coefficient de diffusion	219
 CHAPITRE 30	
Bien comprendre la diffusion des migrants, vue à l'échelle moléculaire (Mai Nguyen, Olivier Vitrac)	221
1. Effet de la mobilité des chaînes du polymère	221
2. Fréquence et longueur des sauts des migrants	221
3. Unité de saut homologue	222
4. Théorie des volumes libres	225
5. Théorie des volumes libres étendue aux migrants flexibles	226
6. Modèles de surestimation des coefficients de diffusion	226
ZOOMS	231
1. L'évaluation du risque des nanomatériaux (Cécile Lacoste) 	
2. Les NIAS (Anne-Marie Riquet) 	
3. La perturbation endocrinienne (Daniel Ribera, Laetitia Doly) 	
4. Le recyclage du PET et des polyoléfines en contact alimentaire (Alexandre Feigenbaum) 	

Préserver l'environnement

CHAPITRE 31

Réglementation (Jan Le Moux)	237
1. Directives européennes sur les déchets	237
2. Objectifs nationaux : de nouvelles ambitions affirmées en 2009 et 2015 et responsabilité des entreprises	239
3. Cas particulier de la réutilisation	239
4. Communication et environnement	240

CHAPITRE 32

Analyse de cycle de vie et méthodes d'évaluation des impacts environnementaux

(Sophie Bonnier)	245
1. La notion d'ACV : principes et étapes	247
1.1. Étape 1 : définition des objectifs et du champ de l'étude	247
1.2. Étape 2 : collecte des données et inventaire	249
1.3. Étape 3 : évaluation de l'impact et indicateurs environnementaux	249
1.4. Étape 4 : interprétation	250
2. Une panoplie d'outils pour des objectifs différents	250
3. Le cycle de vie des emballages	252

CHAPITRE 33

Polymères biosourcés et biodégradables (Sandra Domenek)	253
1. Classifications	253
2. Propriétés fonctionnelles – Biopolymères et polymères synthétiques biosourcés	254
3. Durabilité et impact écologique	256

CHAPITRE 34

Papiers et cartons (Mohamed Naceur Belgacem)	259
1. Contexte général	259
2. Recyclage des vieux papiers	259
3. Carton plat	260
4. Matériaux complexes	262

CHAPITRE 35

Collecte et tri des emballages (Maryon Ginisty-Pailleux)	267
1. Le tri en centre de tri : une séparation des emballages en fonction de leur matériau	269
1.1. Séparation selon la taille	269
1.2. Séparation selon la forme	269
1.3. Séparation selon la matière	269
2. Le tri chez les recycleurs : une purification optimale du matériau	270
3. L'extension des consignes de tri à tous les emballages plastiques : une évolution globale du système de collecte, de tri et de recyclage en France	271
3.1. Contexte et mise en œuvre des structures adaptées	271
3.2. Nouvelles perspectives d'organisation du tri à l'horizon 2030	272
3.3. Développement aux retombées positives et attendues sur l'ensemble des matériaux	273
4. Une qualité des déchets triés garante de la pérennité des filières de recyclage	274
4.1. Standards matériaux : des critères précis pour assurer la qualité des balles triées	274
4.2. Élargissement des consignes et maintien de la qualité : une adaptation nécessaire de l'industrie	275
4.3. Cas des plastiques : pollution et décontamination	277

CHAPITRE 36

Recyclage matière (Maryon Ginisty-Pailleux)	281
1. Recyclabilité et recyclage	281
2. Différents process de recyclage	283
2.1. Les déchets d'emballages en aluminium	283
2.2. Les déchets d'emballages en acier	283
2.3. Les déchets d'emballages en plastique	284
2.4. Les déchets d'emballages en verre	284
2.5. Les emballages en papier carton	285
3. Améliorer la recyclabilité des emballages	285

CHAPITRE 37

Valorisations thermiques et chimiques (Maryon Ginisty-Pailleux)	289
1. Le recyclage chimique et thermique	291
1.1. La dépolymérisation chimique et thermique	291
1.2. La transformation en mélange d'hydrocarbures liquides et gazeux	291
2. La valorisation énergétique	292
2.1. L'incinération avec valorisation énergétique	293
2.2. Les combustibles solides de récupération	293

CHAPITRE 38

Biodégradabilité et compostabilité (Pascal Degraeve)	297
1. De la « dégradation » à la « biodégradation » des emballages	297
2. Biodégradabilité et/ou compostabilité ?	298
2.1. Biodégradable ?	298
2.2. Compostable ?	299
2.3. Compostable et biodégradable ?	300
3. Réactions chimiques associées à la biodégradation des matériaux d'emballage	300
4. Effets de la composition et de la structure des matériaux d'emballage sur leur cinétique de biodégradation	301
5. La biodégradation des matériaux d'emballage peut-elle être une voie de valorisation des déchets d'emballages ?	302
ZOOMS	305

1. Le PEF (Patrice Dole) 
2. Le polylactide (Sandra Domenek) 
3. Le processus technologique du bois au papier (Mohamed Naceur Belgacem) 

Répondre aux exigences techniques et économiques du fabricant d'emballage

CHAPITRE 39

Satisfaire les exigences du fabricant d'emballages (Yvan Chalamet, Patrice Dole)	309
1. Coût des matières premières et des emballages	309
1.1. Coût des matières premières	309
1.2. Coût des emballages/coût des opérations unitaires	311
2. Extrusion gonflage	312
2.1. Principe	312
2.2. Matériaux associés	313
2.3. Structuration du film	314
2.4. Propriétés	314

3. Extrusion film plaque	315
3.1. Principe	316
3.2. Matériaux associés	317
4. Thermoformage	318
4.1. Principe	318
4.2. Matériaux associés	319
5. Injection	321
5.1. Principe	322
5.2. Matériaux associés	322

CHAPITRE 40

Satisfaire les exigences du complexeur (Catherine Joly)	325
1. Le complexage ou l'addition des fonctions	326
1.1. Sceller	326
1.2. Apporter l'ouverture facile	326
1.3. Apporter la fonction barrière à l'eau	327
1.4. Apporter la fonction barrière à l'oxygène	327
1.5. Apporter la fonction de résistance à la déformation et la maniabilité	327
1.6. Apporter la résistance à la déchirure	327
1.7. Apporter la pliability	327
1.8. Apporter la barrière à la lumière/aux UV	328
1.9. Apporter l'imprimabilité	328
2. L'association par co-injection	328
3. L'association par co-extrusion	329
4. L'association par (co)extrusion-(co)lamination	330
5. L'association par contre-collage	331
6. Vers des complexes multicouches monomatières ?	331

CHAPITRE 41

Technologies d'impression (Anne Blayo)	333
1. L'impression offset	335
1.1. Description du procédé	335
1.2. Encres offset	337
2. Les procédés héliogravure et flexographie	338
2.1. Description de l'héliogravure	338
2.2. Description de la flexographie	339
2.3. Encres pour les procédés héliogravure et flexographie	339
3. Les procédés d'impression numérique : jet d'encre et électrophotographie	342
3.1. Description du procédé jet d'encre	342
3.2. Différents types d'encres pour le jet d'encre	342
3.3. Description de l'électrophotographie	344
3.4. Toners pour l'électrophotographie	344
4. La sérigraphie	345
5. Conclusion	345

CHAPITRE 42

Satisfaire les exigences du conditionneur (Patrice Dole)	347
1. Dépiler	347
2. Sceller efficacement à haute cadence	348
3. Remplir à chaud	349

4. Convoyer des emballages	349
5. Manipuler des films sur machines de conditionnement	350

CHAPITRE 43

Bien comprendre les propriétés rhéologiques des polymères à l'état fondu (Yvan Chalamet) .	351
1. Notion de gradient de vitesse de cisaillement	351
2. Notion de contrainte de cisaillement	352
3. Notion de viscosité	352
4. Notion de pertes de charge	354
5. Exemple de relation entre la structure et les propriétés rhéologiques d'un polymère : le polyéthylène	354

CHAPITRE 44

Bien comprendre les propriétés d'adhésion (Patrice Dole)	357
1. Propriétés de surface	357
1.1. Les forces en surface proviennent d'un déficit d'interactions	357
1.2. La surface des liquides, des polymères et des inorganiques	358
2. Conditions et mécanismes d'adhésion	358
2.1. Distance minimale d'interactions	358
2.2. Mouillabilité	359
2.3. Surface spécifique	359
2.4. Ancrage mécanique	360
2.5. Diffusion	360
2.6. Liaisons covalentes	361
2.7. Couches de faible cohésion	361
3. Traitements de préparation des surfaces	362
4. Mesures de morphologie, composition de surface, mouillage et adhérence	362
4.1. Caractérisations de surface	362
4.2. Caractérisations d'adhérence	363

Interagir et communiquer avec le consommateur

CHAPITRE 45


La fonction information (Bénédicte Larinier)	367
1. Les informations de base obligatoires sur le produit alimentaire : le règlement information du consommateur (Inco)	367
1.1. La dénomination de vente légale	367
1.2. La liste des ingrédients	369
1.3. Certains ingrédients sont quantifiés dans la liste des ingrédients (Quid)	370
1.4. L'entreprise responsable	370
1.5. La quantité nette	370
1.6. Les dates de conservation des aliments et les conditions de conservation	371
1.7. Les conditions de conservation	371
1.8. Le mode d'emploi	371
1.9. L'origine des produits	372
1.10. L'information nutritionnelle	373
1.11. Le titre alcoométrique	373
1.12. Les mentions complémentaires	373
2. Quelques mentions spécifiques obligatoires liées à d'autres textes réglementaires que le règlement Inco	374
2.1. Le numéro de lot : assurer la traçabilité des produits	374

2.2. Pour les produits animaux, l'estampille sanitaire	374
2.3. Les produits traités par ionisation	374
2.4. Les produits avec ou sans OGM	374
2.5. Les matériaux : l'aptitude au contact alimentaire	375
2.6. Les produits biologiques	375
2.7. Les logos et indications liés à l'environnement	376
3. Les mentions facultatives	377
3.1. Les allégations nutritionnelles ou de santé	377
3.2. Les signes de qualité : les labels et les appellations d'origine	378
3.3. L'affichage environnemental	379

CHAPITRE 46

Marketing emballage, fonctions de signalisation et d'expression (Muriel Genin)	381
1. Les grands codes du marché	381
1.1. Les codes de marché spécifiques	381
1.2. La suggestion des qualités organoleptiques	382
1.3. Les codes couleur : des éléments clés dans les packagings alimentaires	382
1.4. La structure de l'information doit faciliter la compréhension du pack et son achat	383
1.5. Le ton utilisé varie d'une marque à l'autre mais est signifiant	384
1.6. La typographie est en ligne avec le positionnement et le ton utilisé	384
2. Les tops et les flops packaging sont souvent indissociables de l'idée marketing et du positionnement	385
2.1. Certains flops marketing ont notamment rompu avec les codes du marché sans succès ...	385
2.2. Les succès marketing qui ont rompu avec les codes du marché	386
3. Historique et tendances : les grands mots clés des deux dernières décennies et les évolutions dans les années à venir	387
3.1. Les packagings suivent les tendances fortes de consommation	387
3.2. Demain l'emballage sera connecté et interactif	387

CHAPITRE 47

Répondre aux exigences techniques de praticité (Jacques Thebault)	389
1. Adéquation entre les fonctionnalités des emballages et les attentes des consommateurs ..	389
2. Fonctions assignées à l'emballage	390
3. Mesure de la fonctionnalité d'un emballage	391
3.1. Quelques définitions	391
3.2. Exemples d'évaluation de la praticité	394
ZOOMS	401
1. Le lien odeur-couleur (Muriel Jacquot, Léa Nehmé) 	

Concilier les 7 fonctions de l'emballage

CHAPITRE 48

Élaboration du cahier des charges fonctionnel et du cahier des charges achats (Annie Perrin, Catherine Joly)	405
1. Le cahier des charges	405
2. L'analyse fonctionnelle	405
2.1. L'élaboration du cahier des charges fonctionnel	406
2.2. La rédaction du cahier des charges fonctionnel	408
3. Le cahier des charges achats	409

CHAPITRE 49

Les outils d'aide à la décision et au dimensionnement d'emballage (Valérie Guillard, Nathalie Gontard, Patrice Buche, Carole Guillaume [†])	411
1. Modélisation des transferts de matière	412
2. Exemple d'outils de dimensionnement d'emballage	413
2.1. Des outils simples de dimensionnement d'emballage	415
2.2. Des outils logiciels pour dimensionner un emballage : exemple des EAM des fruits et légumes frais	416
3. Vers une approche multicritère	417

CHAPITRE 50

Fiches techniques produit-emballage (Patrice Dole, Catherine Joly)	421
Index	431

INTRODUCTION

Emballer un produit alimentaire, est-ce bien nécessaire ? L'emballage est « une source gratuite de déchets », « un unique vecteur de vente »... S'il ne sert qu'à cela, et lorsque c'est possible, il faut évidemment l'éviter !

Les circuits courts visent à accélérer la consommation des produits afin de garantir leur qualité et leur fraîcheur, et à minimiser l'impact environnemental associé à notre alimentation. Ces nouveaux modes de distribution se sont beaucoup développés ces dernières années et il convient de soutenir leur extension.

Mais pour les circuits de distribution plus longs, les produits doivent être conservés dans des conditions nécessitant généralement l'usage d'un emballage qui assurera les 7 fonctions qui sont développées dans cet ouvrage, à savoir :

- préserver la qualité de l'aliment ;
- prévenir le risque microbiologique ;
- préserver l'intégrité de l'emballage et de son contenu ;
- prévenir le risque chimique ;
- préserver l'environnement ;
- répondre aux exigences techniques et économiques du fabricant et de l'utilisateur de l'emballage ;
- interagir et communiquer avec le consommateur.








Cet ouvrage abordera successivement ces 7 fonctions. Chaque partie déclinera une fonction sous forme de chapitres développant généralement les sous-fonctions associées.

À l'interface entre le génie des procédés alimentaires, la science des matériaux, la toxicologie, la microbiologie, cet ouvrage veut aller plus loin que la seule énumération des fonctions techniques, afin de donner au lecteur des connaissances plus approfondies. Aussi chaque partie de l'ouvrage se termine par des chapitres annexes : les chapitres « Bien comprendre » explicitent des notions techniques ou scientifiques importantes ; les chapitres « Zoom sur » réalisent des focus d'intérêt ou illustratifs et sont disponibles en ligne.

Volontairement cloisonné pour bien faire intégrer au lecteur les notions très spécifiques associées à chaque fonction de l'emballage, cet ouvrage propose un angle différent dans la 8^e partie : « Concilier les sept fonctions de l'emballage ». Cette dernière montre comment le concepteur d'emballage, au travers du cahier des charges fonctionnel et d'outils plus élaborés, parvient à définir des couples emballages/produits répondant au mieux à l'ensemble des fonctions attendues. L'ouvrage se termine par l'analyse de cas d'espèces (couples produit/emballage analysés sur la base des 7 fonctions).

En constante évolution socio-économique et technologique, le domaine de l'emballage confronte en permanence les industriels à de nouvelles contraintes d'adaptation, notamment en agroalimentaire, afin de garantir la qualité et la sécurité sanitaire des denrées et leur conservation.

À l'interface de nombreuses disciplines (génie des procédés alimentaires, science des matériaux, toxicologie, microbiologie, réglementation...), cet ouvrage propose une approche inédite de l'emballage alimentaire à travers **une analyse complète et pratique de ses 7 fonctions** :

-  préserver la **qualité** de l'aliment ;
-  prévenir le **risque microbiologique** ;
-  préserver l'**intégrité** de l'emballage et de son contenu ;
-  prévenir le **risque chimique** ;
-  préserver l'**environnement** ;
-  répondre aux **exigences techniques et économiques** du fabricant et de l'utilisateur de l'emballage ;
-  **interagir et communiquer** avec le consommateur.

Afin d'appréhender au mieux chacune de ces fonctions, cet ouvrage comprend des rappels des notions de base, des

développements sur les fondamentaux, des exemples concrets et de nombreux tableaux et schémas de synthèse. Des chapitres « Bien comprendre » permettent également d'explicitier des notions scientifiques ou techniques importantes. Enfin, en complément, des « Zooms » sur des sujets d'intérêt sont disponibles en ligne.

Cet ouvrage s'adresse aux ingénieurs et techniciens des industries agroalimentaires qui y trouveront les notions importantes en science des matériaux, ainsi qu'aux techniciens et ingénieurs en physico-chimie des matériaux pour qui l'étude concrète du cahier des charges complexe de l'emballage agroalimentaire permettra une mise en pratique de leurs connaissances de base. Il sera également utile aux fabricants d'emballages et à tous les professionnels de ce secteur.

PATRICE DOLE a été chercheur à l'INRA pendant 12 ans. Il anime depuis 2010 le pôle Emballage du Centre technique de la conservation des produits agricoles (CTCPA) de Bourg-en-Bresse.

