

# SOMMAIRE

---

Liste des auteurs .....	V
Liste des sigles, abréviations et acronymes .....	XI
Introduction (Murielle Naïtali, Laurent Guillier, Florence Dubois-Brissonnet) .....	1

## Microorganismes pathogènes et aliments

### CHAPITRE 1

#### Dangers microbiologiques alimentaires : habitats, modes de transmission à l'Homme et expression du pouvoir pathogène (Florence Dubois-Brissonnet, Shaynoor Dramsi, Laurent Guillier) .....

1. Les réservoirs des bactéries pathogènes alimentaires et voies de transmission à l'Homme .....	8
1.1. Les réservoirs de bactéries pathogènes alimentaires .....	8
1.1.1. Les animaux d'élevage .....	8
1.1.2. Les animaux sauvages, les nuisibles et les animaux domestiques .....	10
1.1.3. L'Homme .....	10
1.1.4. L'environnement .....	11
1.1.5. Les ateliers de production alimentaire .....	12
1.2. Les voies d'exposition de l'Homme <i>via</i> les aliments .....	12
1.2.1. La part des aliments dans la transmission des pathogènes .....	12
1.2.2. Les méthodologies utilisées pour apprécier les modes de transmission alimentaires .....	13
1.2.3. Les principaux aliments couples « dangers/aliments » en France .....	14
2. Les maladies infectieuses bactériennes d'origine alimentaire .....	16
2.1. Caractéristiques générales .....	16
2.2. Les défenses de l'hôte .....	17
2.2.1. Le piège gastrique .....	18
2.2.2. La muqueuse intestinale .....	18
2.2.3. Le système immunitaire .....	18
2.2.4. La disponibilité des nutriments .....	19
2.3. Les mécanismes de pathogénie : grandes étapes de pénétration chez l'hôte .....	19
2.3.1. Les mécanismes d'accession des bactéries jusqu'à la muqueuse épithéliale .....	19
2.3.2. Les mécanismes d'adhésion aux cellules épithéliales .....	20
2.3.3. Des exemples où la bactérie reste en position extracellulaire .....	21
2.3.4. Les mécanismes d'entrée chez l'hôte .....	23
2.3.5. Les mécanismes de survie et de développement dans les cellules hôtes .....	26
2.3.6. Les mécanismes de dissémination dans la circulation .....	27
2.4. Des similitudes et différences entre bactéries infectieuses alimentaires .....	27
2.5. Les facteurs de virulence et leur expression .....	28
2.5.1. Les îlots de pathogénicité et plasmides de virulence .....	28
2.5.2. La régulation des gènes de virulence .....	28
3. Les intoxications .....	29
3.1. Les toxines affectant la transmission des influx nerveux .....	30
3.2. Les toxines émétiques .....	31
4. Conclusion .....	31

### CHAPITRE 2

#### Développement des microorganismes pathogènes dans les aliments (Murielle Naïtali, Florence Dubois-Brissonnet) .....

1. Les principales phases de la croissance bactérienne .....	37
1.1. La latence .....	38

1.2. La croissance exponentielle	39
1.3. La phase stationnaire immédiate	42
1.4. La phase stationnaire « à long terme »	42
2. Les facteurs de maîtrise de la croissance	43
2.1. Les facteurs abiotiques extrinsèques	45
2.1.1. La température	45
2.1.2. Les atmosphères : oxygène et CO <sub>2</sub>	48
2.2. Les facteurs abiotiques intrinsèques	53
2.2.1. Le pH	53
2.2.2. L' <i>a<sub>w</sub></i>	58
2.2.3. Les huiles essentielles	62
2.2.4. Les nitrites	65
2.3. Les facteurs biotiques	65
2.3.1. Les principales interactions microbiennes permettant la maîtrise des pathogènes	66
2.3.2. Les moyens de conservation associés	69
2.4. La structure des aliments	71
2.4.1. Les barrières biologiques des aliments non transformés	71
2.4.2. Les matrices alimentaires structurées	73
2.5. La conservation multifactorielle	75
3. Les facteurs de maîtrise de la toxinogénèse	76
4. Conclusion	77

### CHAPITRE 3

<b>Inactivation des microorganismes pathogènes dans les aliments et les environnements industriels agroalimentaires (Murielle Naïtali, Florence Dubois-Brissonnet)</b>	<b>87</b>
1. L'inactivation des microorganismes : concepts généraux communs	88
1.1. Modèle primaire d'inactivation	88
1.2. Notions de stérilisation, de pasteurisation et de désinfection	89
1.3. Mécanismes d'inactivation et facteurs d'influence	91
1.3.1. Méthodes d'étude	92
1.3.2. Résistances microbiennes aux traitements d'inactivation	92
1.3.3. « Efficacité apparente » de l'inactivation en fonction de la méthode d'évaluation des survivants	93
2. L'inactivation thermique	94
2.1. Mode d'action des traitements thermiques	94
2.2. Quantification de l'efficacité des traitements thermiques	94
2.2.1. Impact de la température : modèle secondaire d'inactivation thermique	94
2.2.2. Valeurs stérilisatrice et pasteurisatrice : <i>F</i> et <i>VP</i>	95
2.2.3. Conséquences pratiques	96
2.3. Résistance naturelle des microorganismes aux traitements thermiques et impact des conditions physiologiques	97
2.4. Autres facteurs influençant l'efficacité d'une inactivation thermique	99
2.4.1. Facteurs liés au procédé	99
2.4.2. Facteurs liés à l'aliment	99
2.4.3. Hiérarchisation des différents facteurs d'influence	100
2.5. Inactivation des toxines microbiennes par des traitements thermiques	101
3. D'autres traitements physiques d'inactivation microbienne	101
3.1. Contexte législatif	102
3.2. Ionisation	102
3.3. UV et lumière pulsée	105
3.4. Hautes pressions	107
4. La désinfection avec des composés chimiques	110
4.1. Mode d'action des désinfectants	110
4.2. Réglementation et substances autorisées	111

4.3. Quantification de l'efficacité des désinfectants .....	114
4.3.1. Impact de la concentration en désinfectant : modèle secondaire d'inactivation chimique .....	114
4.3.2. Méthodes de détermination de l'activité bactéricide des désinfectants .....	116
4.4. Résistances intrinsèque et acquise des bactéries aux désinfectants .....	117
4.5. Grandes étapes du nettoyage-désinfection des surfaces d'ateliers de production .....	118
4.5.1. Nettoyage .....	118
4.5.2. Désinfection .....	119
4.5.3. Procédés industriels .....	120
4.5.4. Méthodes de vérification de la désinfection .....	120
5. Des procédés alternatifs de nettoyage-désinfection avec des composés naturels .....	121
5.1. Enzymes favorisant le nettoyage .....	121
5.2. Molécules naturelles à activité bactéricide .....	122
5.3. Bactériophages en décontamination des surfaces .....	123
6. Le concept de traitement minimal .....	123
7. Conclusion .....	125

## CHAPITRE 4

<b>Prévoir le comportement des bactéries pathogènes dans les aliments (Laurent Guillier, Eugénie Baril, Jean-Christophe Augustin) .....</b>	<b>133</b>
1. L'acquisition de données et les plans d'expérience .....	134
1.1. Préambule à l'acquisition de données et la conception d'un plan d'expérience .....	134
1.1.1. Le nombre de données et les plans d'expérience .....	135
1.1.2. Les données issues de méta-analyses .....	136
1.2. Le choix des conditions expérimentales : aliments ou milieu de culture ? .....	136
1.2.1. L'étude du comportement microbien dans les aliments .....	136
1.2.2. Les milieux de culture .....	137
1.2.3. Un compromis à trouver entre aliments et milieux de culture ? .....	137
1.3. Les méthodes utilisées pour suivre l'évolution de la densité microbienne .....	138
1.3.1. Les unités formant colonies (UFC) .....	138
1.3.2. La densité optique (DO) .....	138
1.3.3. Les autres techniques .....	140
2. Les modèles primaires .....	141
2.1. Les modèles primaires de croissance .....	141
2.1.1. Les modèles déterministes de croissance .....	142
2.1.2. Les modèles stochastiques de croissance .....	144
2.2. Les modèles primaires d'inactivation .....	144
2.2.1. Le modèle log-linéaire .....	144
2.2.2. Le modèle de Weibull .....	145
2.2.3. D'autres modèles primaires d'inactivation .....	146
3. Les modèles secondaires .....	146
3.1. Les modèles secondaires pour le taux de croissance .....	146
3.1.1. Les modèles polynomiaux .....	147
3.1.2. L'approche progressive .....	147
3.1.3. Les autres modèles secondaires pour le taux de croissance .....	150
3.2. Les modèles secondaires pour le temps de latence .....	150
3.3. La modélisation des interactions entre espèces bactériennes .....	151
3.3.1. Les différentes approches de modélisation des interactions .....	151
3.3.2. Le cas particulier des modèles d'interaction de type « Jameson » .....	152
3.4. Les modèles secondaires pour l'inactivation .....	153
3.4.1. La modélisation de l'influence de la température .....	153
3.4.2. La modélisation de l'influence d'autres facteurs environnementaux .....	153
3.4.3. La combinaison de facteurs .....	154
3.4.4. L'influence du milieu de recouvrement des cellules ayant subi un traitement d'inactivation .....	154
3.4.5. L'influence des conditions environnementales antérieures au traitement d'inactivation .....	154

3.5. Les modèles décrivant l'interface croissance/non-croissance .....	155
3.6. La validation des modèles secondaires .....	156
4. Les modèles tertiaires et les applications de la microbiologie prévisionnelle .....	156
4.1. Les modèles tertiaires .....	156
4.1.1. Le bilan des modèles tertiaires existants .....	156
4.1.2. Des perspectives .....	159
4.2. Les domaines d'application de la microbiologie prévisionnelle .....	159
4.2.1. La microbiologie prévisionnelle et l'appréciation quantitative des risques .....	159
4.2.2. L'utilisation par l'industrie alimentaire .....	160
5. Conclusion .....	162

## CHAPITRE 5

<b>Adaptation au stress, tolérance et persistance des bactéries pathogènes dans les environnements alimentaires (Florence Dubois-Brissonnet, Murielle Naïtali, Romain Briandet) .....</b>	<b>171</b>
1. Le stress microbien .....	172
1.1. Définition du stress et des traitements générateurs .....	172
1.2. Mécanismes généraux de réaction au stress .....	173
1.3. Conséquences du stress bactérien .....	176
1.3.1. Induction de tolérance .....	176
1.3.2. Problème de détectabilité des cellules stressées .....	176
1.3.3. Génération d'une hétérogénéité cellulaire par mutagenèse adaptative .....	178
1.3.4. Modification de la virulence .....	178
1.4. Stress thermique : mécanismes spécifiques de réponse .....	179
1.4.1. Réponses physiologiques .....	179
1.4.2. Thermotolérance et autres tolérances induites .....	180
1.5. Stress acide : mécanismes spécifiques de réponse .....	181
1.5.1. Réponses physiologiques .....	181
1.5.2. Induction de tolérance à l'acide .....	183
1.6. Stress osmotique : mécanismes spécifiques de réponse .....	183
1.7. Stress oxydatif et chimique : mécanismes spécifiques de réponse .....	184
1.8. Stress nutritionnel : mécanismes spécifiques de réponse .....	185
2. Les bactéries viables mais non cultivables .....	185
2.1. Caractéristiques générales de l'état VNC .....	186
2.2. Entrer et sortir de l'état VNC .....	187
2.3. Des formes de persistance potentiellement pathogènes ? .....	188
3. Les spores bactériennes .....	189
3.1. Structure et composition des spores .....	190
3.2. Sporulation et germination .....	190
3.3. Conséquences de l'état sporal .....	192
3.3.1. Des formes de résistance .....	192
3.3.2. Des formes de dissémination .....	194
3.3.3. Une virulence conservée .....	195
4. Les biofilms .....	195
4.1. Biofilms et sécurité microbiologique des aliments .....	195
4.2. Formation d'un biofilm microbien .....	196
4.3. Résistance des bactéries en biofilm .....	199
4.4. Biofilms et pathogénie microbienne .....	202
5. Conclusion .....	203

## CHAPITRE 6

<b>Évolution des risques microbiologiques (Florence Dubois-Brissonnet) .....</b>	<b>213</b>
1. Un peu d'histoire .....	214
2. Évolution des microorganismes .....	215
2.1. Acquisition de nouveaux facteurs de virulence .....	215
2.2. Souches multirésistantes aux antibiotiques .....	215

2.3. Tolérance au stress et persistance des pathogènes .....	216
3. Changements de voies de contamination des aliments .....	218
3.1. La production primaire .....	218
3.1.1. Les changements climatiques .....	218
3.1.2. L'évolution des pratiques agricoles .....	219
3.1.3. Les animaux comme vecteurs de pathogènes .....	220
3.2. Les procédés technologiques et les modes de consommation .....	221
3.2.1. Les modes de production .....	221
3.2.2. Les modes de conservation .....	222
3.2.3. Les modes de consommation .....	222
3.3. La globalisation du commerce et des échanges internationaux .....	223
4. Facteurs démographiques et de sensibilité des populations .....	224
5. Surveillance et détection précoce des dangers émergents .....	225
6. Conclusion .....	225
CHAPITRE 7	
<b>Bioterrorisme et risque alimentaire (Didier Hilaire, Valérie Morineaux) .....</b>	<b>231</b>
1. Exemples d'utilisation malveillante d'agents biologiques .....	232
2. Aliments et risque biologique intentionnel .....	232
2.1. Risque biologique intentionnel .....	232
2.2. Risque biologique alimentaire intentionnel .....	233
2.2.1. Objectifs et cibles .....	233
2.2.2. Contamination de la chaîne de production des aliments .....	234
3. Agents biologiques du risque intentionnel .....	236
3.1. Propriétés des agents biologiques : critères de Rosebury .....	236
3.2. Classification des agents biologiques .....	237
3.2.1. Classification du groupe Australie .....	237
3.2.2. Classification américaine .....	237
3.2.3. Classification française .....	238
3.3. Agents biologiques du risque intentionnel alimentaire .....	238
3.3.1. Propriétés particulières des agents biologiques liés au vecteur aliment .....	238
3.3.2. Agents biologiques susceptibles d'être utilisés pour un vecteur aliment .....	240
3.4. Disponibilité des agents biologiques .....	242
3.5. Mise en œuvre des agents biologiques .....	242
4. Mesures de prévention et de gestion du risque intentionnel .....	243
4.1. Mesures générales .....	243
4.1.1. Le « livre vert » et ses conséquences .....	243
4.1.2. Les plans nationaux .....	244
4.2. Mesures liées à la filière alimentaire .....	244
4.2.1. Le Paquet Hygiène, le PMS et l'HACCP .....	244
4.2.2. Le guide interministériel et la VACCP .....	245
4.3. Détection et identification des agents biologiques lors d'un événement intentionnel .....	246
5. Conclusion .....	247

## Outils de gestion du risque microbiologique alimentaire

CHAPITRE 8	
<b>Réglementations régissant la sécurité sanitaire des aliments (Laurent Guillier) .....</b>	<b>253</b>
1. Contexte général .....	253
1.1. Premières bases de la réglementation actuelle .....	253
1.2. Crises alimentaires et <i>Livre blanc</i> .....	253
1.3. Objectif général et structure des textes du Paquet Hygiène .....	254

2. Le règlement (CE) n° 178/2002 dit <i>Food Law</i> .....	255
2.1. Les prescriptions générales du règlement .....	255
2.1.1. Objectif : mettre sur le marché un produit sûr .....	255
2.1.2. La responsabilité des exploitants .....	256
2.1.3. La traçabilité .....	257
2.2. L'Autorité européenne de sécurité des aliments (AESA) .....	258
2.2.1. Son origine et ses missions .....	258
2.2.2. Son fonctionnement .....	258
2.2.3. Ses apports .....	259
2.3. Les systèmes d'alerte, la gestion de crises et les situations d'urgence .....	260
2.3.1. Le système d'alerte rapide pour les denrées alimentaires et aliments pour animaux .....	260
2.3.2. Les mesures d'urgence et de gestion de crises .....	261
3. Les règlements relatifs aux obligations des professionnels .....	262
3.1. Le règlement (CE) n° 852/2004 .....	263
3.1.1. Les dispositions générales et spécifiques .....	263
3.1.2. L'application des principes de l'HACCP et les guides de bonnes pratiques d'hygiène .....	263
3.1.3. L'enregistrement des entreprises .....	264
3.2. Le règlement (CE) n° 853/2004 .....	264
3.2.1. Les obligations générales .....	264
3.2.2. Les obligations spécifiques .....	265
3.3. Les règlements d'application et la réglementation nationale .....	265
3.4. Le plan de maîtrise sanitaire comme outil de mise en place des règlements du Paquet Hygiène .....	266
4. Les règlements relatifs aux services de contrôle .....	267
4.1. Le règlement (CE) n° 882/2004 .....	267
4.1.1. L'organisation des contrôles officiels en France .....	267
4.1.2. La programmation des inspections .....	268
4.1.3. L'inspection du PMS .....	269
4.1.4. Les réseaux de laboratoires .....	269
4.2. Le règlement (CE) n° 854/2004 .....	270
4.2.1. L'inspection des viandes .....	271
4.2.2. Les autres denrées alimentaires d'origine animale .....	271
5. Conclusions et perspectives .....	272

## CHAPITRE 9

<b>PMS et HACCP (Olivier Boutou) .....</b>	<b>275</b>
1. Le plan de maîtrise sanitaire .....	275
1.1. Les exigences réglementaires relatives à la sécurité sanitaire .....	275
1.2. Des outils d'aide à l'élaboration du PMS .....	276
1.2.1. Les Guides de bonnes pratiques d'hygiène et d'application des principes HACCP .....	277
1.2.2. Des normes et autres textes ISO et AFNOR .....	277
1.2.3. Des codes d'usage du <i>Codex Alimentarius</i> .....	279
1.3. Au-delà du PMS : des démarches contractuelles ou volontaires .....	279
2. Les programmes prérequis du PMS .....	280
2.1. Phase de planification des PRP .....	281
2.2. Phase de mise en œuvre des PRP .....	283
2.3. Phase de contrôle, vérification des PRP .....	283
2.4. Phase d'amélioration des PRP .....	284
3. L'HACCP .....	284
3.1. Les 7 principes et 12 étapes de l'HACCP .....	286
3.2. Les 12 étapes de l'HACCP .....	286
3.2.1. Étape 1 : constituer l'équipe HACCP .....	286
3.2.2. Étape 2 : décrire le produit .....	287
3.2.3. Étape 3 : identifier l'usage prévu pour le produit .....	287
3.2.4. Étape 4 : construire le diagramme du procédé .....	288

3.2.5. Étape 5 : confirmer le diagramme sur le site	288
3.2.6. Étape 6 : dresser la liste de tous les dangers potentiellement liés à chaque étape, faire l'analyse des dangers et étudier les mesures de maîtrise des dangers identifiés	289
3.2.7. Étape 7 : identification des PRPo et des CCP	292
3.2.8. Étape 8 : établir les limites critiques pour chaque CCP	294
3.2.9. Étape 9 : établir un système de surveillance pour chaque PRPo et chaque CCP	294
3.2.10. Étape 10 : établir les corrections et actions correctives	295
3.2.11. Étape 11 : établir les procédures de vérification	295
3.2.12. Étape 12 : établir la documentation et l'archivage	296
4. La traçabilité des produits alimentaires	297
5. Conclusion	297

## CHAPITRE 10

<b>HACCP en pratique : aspects managériaux et études de cas (Maryvonne Lassalle-de Salins, Elisabeth Morelli, Véronique Noël, Gérard Poumeyrol, Florence Dubois-Brissonnet)</b>	<b>299</b>
1. Aspects managériaux et organisationnels de l'étude HACCP	300
1.1. Les choix initiaux : le périmètre et la structure de l'étude, les participants	300
1.2. Un travail pluridisciplinaire à organiser	301
1.3. La définition collective de ce qui est « acceptable » : l'établissement de critères et la fixation des limites critiques	302
1.4. Les ressources à mettre en œuvre	304
2. Étude de cas : terrine de viande	305
2.1. Préparation à l'analyse des dangers	306
2.2. Analyse des dangers	306
2.2.1. Identification des dangers	306
2.2.2. Évaluation des dangers	307
2.3. Définitions des mesures de maîtrise	308
2.4. Établissement des actions de surveillance	310
3. Étude de cas : biscuit à la cuillère	310
3.1. Préparation à l'analyse des dangers	310
3.2. Analyse des dangers	310
3.2.1. Identification des dangers	310
3.2.2. Évaluation des dangers	311
3.2.3. Définitions des mesures de maîtrise pertinentes	312
3.3. Établissement des actions de surveillance	313
4. Conclusion	313

## CHAPITRE 11

<b>Dispositif de surveillance des microorganismes dans la chaîne alimentaire : finalités et organisation en France (Bertrand Lombard, Corinne Danan, Marion Bordier, Laurent Montaut, Isabelle Berta-Van Rullen, Renaud Lailler, Laurent Laloux)</b>	<b>317</b>
1. Notions relatives au dispositif de surveillance	318
1.1. Définition et objectifs de la surveillance	318
1.2. Enjeux de l'organisation de la surveillance	318
1.3. Organisation de la surveillance	318
1.3.1. Étapes de la surveillance	318
1.3.2. Systèmes de recueil des données	319
1.3.3. Mutualisation et exploitation des données	320
1.4. Représentation schématique du dispositif de surveillance en France	321
2. Contrôles officiels	322
2.1. Cadre réglementaire	323
2.1.1. Règlements (CE) n° 882/2004 et 854/2004 relatifs aux contrôles officiels	323
2.1.2. Règlement (CE) n° 2073/2005 concernant les critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires	323
2.1.3. Directive 2003/99/CE sur la surveillance des zoonoses et des agents zoonotiques	324

2.2. Plans de surveillance et de contrôle de la DGAL et de la DGCCRF .....	324
2.2.1. Définitions et objectifs .....	324
2.2.2. Plans de surveillance et de contrôle de la DGAL .....	325
2.2.3. Plans de surveillance et de contrôle de la DGCCRF .....	327
2.3. Contrôles officiels d'inspection ou d'investigation .....	328
3. Autocontrôles effectués par les exploitants du secteur alimentaire .....	328
3.1. Contexte .....	328
3.2. Choix des autocontrôles .....	329
3.3. Mise en œuvre des autocontrôles et exploitation .....	329
4. Réseaux d'épidémiosurveillance : exemples de <i>Salmonella</i> et <i>Listeria monocytogenes</i> .....	330
4.1. Contexte européen .....	330
4.2. Des éléments structurants .....	331
4.3. Harmonisation des référentiels .....	332
4.4. Qualité des données .....	333
4.5. Représentativité des données .....	333
5. Mise en place de l'Observatoire de l'alimentation .....	333
6. Conclusion .....	334

CHAPITRE 12

<b>Méthodes d'analyse pour le contrôle microbiologique des aliments : cas des bactéries pathogènes (Murielle Naïtali, Abdelkader Boubetra) .....</b>	<b>337</b>
1. Le contexte réglementaire de l'analyse microbiologique des aliments : le règlement européen (CE) n° 2073/2005 .....	338
1.1. Les plans d'échantillonnage .....	338
1.2. L'interprétation des résultats et ses limites .....	340
2. Les méthodes de référence et les méthodes alternatives validées .....	340
3. La recherche des bactéries pathogènes .....	343
3.1. Le rôle et les améliorations actuelles des différentes étapes d'une méthode de recherche .....	343
3.1.1. Le pré-enrichissement .....	344
3.1.2. L'enrichissement sélectif .....	345
3.1.3. La détection .....	346
3.1.4. La confirmation .....	352
3.2. Des méthodes de recherche en perpétuelle évolution .....	352
3.2.1. Détecter les microorganismes émergents .....	352
3.2.2. Intégrer les progrès scientifiques et techniques .....	354
4. Le dénombrement sélectif des faibles nombres .....	355
4.1. La revivification associée au dénombrement .....	357
4.2. Le dénombrement des faibles nombres en milieu liquide .....	358
4.3. Le dénombrement des faibles nombres en milieu solide .....	359
5. Conclusion .....	361

CHAPITRE 13

<b>Systèmes français de surveillance des maladies d'origine alimentaire : sources, méthodes, apports, limites (Véronique Vaillant, Christine Saura, Henriette de Valk) .....</b>	<b>367</b>
1. La déclaration obligatoire .....	367
2. La surveillance par les Centres nationaux de référence .....	370
3. Les autres systèmes de surveillance et de signalement .....	372
3.1. Les réseaux volontaires de surveillance .....	372
3.2. Les autres dispositifs contribuant au signalement .....	373
4. Conclusion .....	374

CHAPITRE 14

<b>Analyse des risques microbiologiques (Laurent Guillier) .....</b>	<b>377</b>
1. L'appréciation quantitative des risques .....	378

1.1. L'identification des dangers .....	379
1.2. L'appréciation de l'exposition .....	380
1.2.1. Les données relatives à la consommation .....	380
1.2.2. Les données de prévalence et de concentration du danger .....	380
1.2.3. L'influence de la chaîne de production, de la conservation et de la préparation sur l'exposition .....	381
1.3. La caractérisation du danger .....	383
1.3.1. La relation dose-réponse .....	383
1.3.2. Les données utiles à l'établissement d'une relation dose-réponse .....	385
1.3.3. La caractérisation des dangers en l'absence de relation dose-réponse ou pour les dangers responsables d'intoxication .....	386
1.4. La caractérisation des risques .....	386
1.4.1. Les appréciations qualitative et quantitative des risques .....	386
1.4.2. L'incertitude et la variabilité .....	387
1.4.3. Les sorties de la caractérisation du risque dans un contexte quantitatif .....	387
2. La gestion du risque .....	388
2.1. Un cadre pour la gestion du risque .....	389
2.2. Les activités préliminaires à la gestion des risques (phase 1) .....	389
2.2.1. L'identification d'un problème de santé publique .....	389
2.2.2. Le profil de risque .....	390
2.2.3. La définition d'une politique d'évaluation des risques .....	391
2.2.4. L'évaluation des risques .....	391
2.3. La définition, la mise en œuvre et le suivi des options de gestion du risque (phases 2, 3 et 4) .....	392
2.4. Un nouveau cadre de gestion des risques microbiologiques .....	392
2.4.1. Le niveau approprié de protection .....	393
2.4.2. L'objectif de sécurité sanitaire .....	393
2.4.3. Les objectifs et les critères de performance .....	394
2.4.4. Les critères de procédé ou de produit .....	394
2.4.5. Les approches pour déterminer un OP et un CP à partir d'un OSA .....	394
3. La communication sur le risque .....	395
3.1. Qu'est-ce que la communication sur le risque ? .....	395
3.2. Des éléments pratiques sur la communication .....	396
3.3. Des exemples de communication sur le risque .....	396
4. Conclusion .....	396
CHAPITRE 15	
<b>Gestion d'une crise sanitaire : récit d'un épisode relatif à <i>E. coli</i> O157:H7 fin 2005</b>	
(Maryvonne Lassalle-de Salins, Karine Boquet) .....	403
1. Les principales étapes de la crise liée à une souche d' <i>E. coli</i> entérohémorragique en octobre 2005 : des premiers signalements de malades à l'identification des produits contaminés .....	404
1.1. L'épidémie et l'identification des cas .....	404
1.2. L'identification des produits contaminés et de leur circuit .....	405
2. La gestion de la crise par les autorités sanitaires et les entreprises concernées .....	406
2.1. Le rôle des pouvoirs publics pendant la crise .....	406
2.2. La gestion de la crise par la chaîne de grande distribution .....	407
2.3. La gestion de la crise par l'abattoir à l'origine de la contamination .....	408
3. La gestion post-crise .....	408
3.1. Les conséquences économiques à court et à moyen terme .....	409
3.2. Les décisions de l'administration : recommandations et surveillance tout au long de la filière .....	409
3.2.1. La mise en place de la surveillance et de l'évaluation quantitative des risques .....	409
3.2.2. Des recommandations pour la restauration collective et les consommateurs : la cuisson comme mesure de maîtrise .....	410
3.2.3. L'encadrement des autocontrôles .....	411
3.3. Du côté du transformateur impliqué .....	411
3.3.1. Des mesures pour améliorer la maîtrise des risques .....	411

3.3.2. Mieux comprendre et informer .....	412
3.4. L'influence d'autres acteurs de la filière .....	412
4. Conclusion : quelques enseignements de cette crise .....	412

## Agents infectieux et/ou toxinogènes avérés, émergents et réémergents

### CHAPITRE 16

<b><i>Salmonella enterica</i></b> (Zineb Boumart, Fatémeh Namdari, Isabelle Virlogeux-Payant, Philippe Velge) .....	419
1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène .....	419
1.1. Nature de l'agent et taxonomie .....	419
1.2. Habitat, réservoir du pathogène et persistance chez les animaux .....	420
1.3. Principales caractéristiques physiologiques de croissance et de résistance aux traitements technologiques .....	422
2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment .....	423
2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence .....	423
2.2. Surveillance dans les aliments .....	423
2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène .....	424
3. Maladie humaine .....	426
3.1. Nature de la maladie .....	426
3.1.1. Voies d'infection de l'Homme .....	427
3.1.2. Mécanisme de virulence .....	427
3.2. Relations dose-réponse .....	429
3.3. Diagnostic et traitement médical .....	429
3.4. Épidémiologie et évolution du risque dans le temps .....	430
4. Conclusion .....	432

### CHAPITRE 17

<b><i>Escherichia coli</i> producteurs de Shiga-toxines (STEC)</b> (Estelle Loukiadis) .....	437
1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène .....	437
1.1. Nature et taxonomie de l'agent .....	437
1.2. Habitat et réservoir du pathogène .....	439
1.3. Principales caractéristiques physiologiques de croissance .....	440
1.4. Caractéristiques de résistance aux traitements de stabilisation et de destruction .....	441
2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment .....	443
2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence .....	443
2.2. Surveillance dans les aliments .....	444
2.2.1. Organisation de la surveillance en Europe .....	444
2.2.2. Méthodes de détection des STEC .....	445
2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène .....	447
2.3.1. Stratégies de prévention lors de l'élevage .....	447
2.3.2. Stratégies à l'abattoir et lors de la traite .....	448
2.3.3. Stratégies à la distribution et chez le consommateur .....	449
3. Maladie humaine .....	449
3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effets sur l'Homme .....	449
3.2. Relations dose-réponse .....	451
3.3. Diagnostic et traitement médical .....	452
3.4. Épidémiologie .....	453
4. Conclusion .....	454

### CHAPITRE 18

<b><i>Campylobacter jejuni</i> et autres <i>Campylobacter</i> thermotolérants responsables d'intoxications alimentaires</b> (Soumaya Messaoudi, Michel Federighi) .....	461
1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène .....	461
1.1. Taxonomie .....	461
1.2. Nature de l'agent .....	463

1.2.1. Caractéristiques générales .....	463
1.2.2. Principales caractéristiques biochimiques et typages .....	463
1.3. Habitat et réservoir du pathogène .....	464
1.4. Principales caractéristiques physiologiques de croissance .....	464
1.5. Comportement de <i>Campylobacter jejuni</i> vis-à-vis de traitements technologiques physiques et chimiques .....	465
1.5.1. Traitements physiques .....	465
1.5.2. Traitements chimiques : molécules naturelles et de synthèse .....	467
2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment .....	468
2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence .....	469
2.2. Surveillance dans les aliments .....	471
2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène .....	472
3. Maladie humaine .....	473
3.1. Nature de la maladie : étiopathogénie et effets sur l'Homme .....	473
3.1.1. Pénétration dans le mucus intestinal .....	474
3.1.2. Adhésion aux cellules intestinales .....	474
3.1.3. Invasion des cellules intestinales .....	474
3.1.4. Autres facteurs intervenant dans la pathogénie .....	475
3.2. Relation dose-réponse .....	475
3.3. Diagnostic et traitement médical .....	475
3.4. Épidémiologie .....	476
4. Conclusion .....	477
 CHAPITRE 19	
<b><i>Listeria monocytogenes</i></b> (Pascal Piveteau) .....	<b>481</b>
1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène .....	481
1.1. Nature de l'agent et taxonomie .....	481
1.2. Habitat et réservoir du pathogène .....	482
1.3. Principales caractéristiques physiologiques de croissance .....	483
1.4. Caractéristiques de résistance aux traitements de destruction .....	484
2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment .....	485
2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence .....	485
2.2. Surveillance dans les aliments .....	488
2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène .....	490
3. Maladie humaine .....	490
3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effets sur l'Homme .....	490
3.2. Relations dose-réponse .....	493
3.3. Diagnostic et traitement médical .....	493
3.4. Épidémiologie .....	493
3.5. Évolution du risque dans le temps .....	494
4. Conclusion .....	495
 CHAPITRE 20	
<b><i>Yersinia enterocolitica</i></b> et <b><i>Yersinia pseudotuberculosis</i></b> (Carole Feurer, Laurent Guillier) .....	<b>503</b>
1. Nature et caractéristiques de l'agent pathogène .....	503
1.1. Nature et taxonomie .....	503
1.2. Habitat et réservoir du pathogène .....	504
1.3. Principales caractéristiques physiologiques de croissance .....	505
1.4. Caractéristiques de résistance aux traitements de destruction .....	506
2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment .....	507
2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence .....	507
2.1.1. Modes de transmission .....	507
2.1.2. Prévalence dans les aliments .....	508
2.2. Surveillance dans les aliments .....	509
2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène .....	509

3. Maladie humaine .....	510
3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effets sur l'Homme .....	510
3.2. Relation dose-réponse .....	511
3.3. Diagnostic et traitement médical .....	512
3.3.1. Diagnostic .....	512
3.3.2. Traitement médical .....	512
3.4. Épidémiologie .....	512
4. Conclusion .....	513
CHAPITRE 21	
<b>Cronobacter spp. (<i>Enterobacter sakazakii sensu lato</i>) (Alexandre Leclercq) .....</b>	<b>519</b>
1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène .....	519
1.1. Nature de l'agent et taxonomie .....	519
1.2. Habitat et réservoir du pathogène .....	521
1.3. Principales caractéristiques physiologiques de croissance .....	523
1.4. Caractéristiques de survie et de résistance aux traitements technologiques .....	523
2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment .....	525
2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence .....	525
2.1.1. Définition des préparations en poudre .....	526
2.1.2. Fabrication des préparations en poudre .....	527
2.1.3. Contamination des préparations en poudre .....	528
2.2. Réglementation et surveillance dans les aliments .....	529
2.2.1. Réglementation .....	529
2.2.2. Méthodes de détection .....	530
2.2.3. Méthode de typage moléculaire .....	535
2.2.4. Surveillance .....	535
2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène .....	535
2.3.1. Au niveau des ingrédients .....	537
2.3.2. Au niveau de l'hygiène de production .....	537
2.3.3. Au niveau des préparations reconstituées .....	538
3. Maladie humaine .....	538
3.1. Nature de la maladie .....	538
3.1.1. Effets sur l'Homme .....	538
3.1.2. Mécanisme de pathogénie .....	539
3.2. Relations dose-réponse et dose-effet .....	540
3.3. Diagnostic et traitement médical .....	541
3.4. Épidémiologie .....	541
4. Conclusion .....	542
CHAPITRE 22	
<b><i>Vibrio</i>, espèces pathogènes (Dominique Hervio-Heath, Pascal Garry) .....</b>	<b>547</b>
1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène .....	548
1.1. Nature de l'agent et taxonomie .....	548
1.2. Habitat et réservoir du pathogène .....	549
1.3. Principales caractéristiques physiologiques de croissance .....	549
1.4. Caractéristiques de résistance aux traitements de destruction .....	549
2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment .....	550
2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence .....	550
2.2. Surveillance dans les aliments .....	551
2.2.1. Réglementation relative au danger <i>Vibrio</i> .....	551
2.2.2. Méthodes de détection et de dénombrement .....	552
2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène .....	553
2.3.1. Recommandations aux opérateurs .....	553
2.3.2. Recommandations aux consommateurs .....	553
3. Maladie humaine .....	553

3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effet sur l'Homme	553
3.2. Relation dose-réponse	555
3.3. Diagnostic et traitement médical	555
3.4. Épidémiologie	556
3.4.1. Modalités de surveillance	556
3.4.2. Données épidémiologiques	556
4. Conclusion	556
CHAPITRE 23	
<b>Bacillus cereus</b> (Christophe Nguyen-The, Frédéric Carlin)	561
1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène	561
1.1. Nature de l'agent et taxonomie	561
1.1.1. Caractéristiques générales	561
1.1.2. Situation taxonomique	562
1.1.3. Autres espèces de <i>Bacillus</i> agents d'intoxications alimentaires	565
1.2. Habitat et réservoir du pathogène	565
1.3. Principales caractéristiques physiologiques	566
1.3.1. Caractéristiques de croissance	566
1.3.2. Conditions de production des toxines exogènes	568
1.3.3. Conditions de sporulation	569
1.3.4. Conditions de germination des spores	569
1.4. Caractéristiques de résistance aux traitements de destruction	570
1.4.1. Résistance des spores	570
1.4.2. Résistance des cellules végétatives	571
1.4.3. Résistance des toxines préformées dans l'aliment	571
2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment	572
2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence	572
2.2. Surveillance dans les aliments	573
2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène	574
3. Maladie humaine	574
3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effets sur l'Homme	574
3.2. Maladie diarrhéique	574
3.3. Maladie émétique	575
3.4. Relations dose-réponse	575
3.5. Diagnostic et traitement médical	576
3.6. Épidémiologie	576
4. Conclusion	577
CHAPITRE 24	
<b>Clostridium perfringens</b> (Michel Robert Popoff)	585
1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène	586
1.1. Nature de l'agent et taxonomie	586
1.1.1. Caractéristiques générales	586
1.1.2. Génétique des <i>C. perfringens</i>	586
1.1.3. Entérotoxine de <i>C. perfringens</i>	587
1.2. Habitat et réservoir du pathogène	589
1.3. Principales caractéristiques physiologiques	589
1.3.1. Caractéristiques de croissance	589
1.3.2. Conditions de sporulation et de germination des spores	589
1.4. Principales caractéristiques de résistance aux traitements de destruction	590
2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment	591
2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence	591
2.2. Surveillance dans les aliments	591
2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène	592
3. Maladie humaine	593

3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effet sur l'Homme	593
3.1.1. Cas général	593
3.1.2. Cas particulier : l'entérite nécrosante	595
3.2. Relations dose-réponse	595
3.3. Diagnostic et traitement médical	595
3.4. Épidémiologie	597
4. Conclusion	598

## CHAPITRE 25

***Clostridium botulinum* et autres *Clostridium* producteurs de neurotoxines botuliques**

(Michel Robert Popoff)	601
1. Nature et principales caractéristiques des agents pathogènes	602
1.1. Nature des agents et taxonomie	602
1.1.1. Situation taxonomique	602
1.1.2. Caractéristiques générales	604
1.1.3. Génétique	605
1.2. Habitat et réservoir du pathogène	607
1.3. Principales caractéristiques physiologiques	607
1.3.1. Caractéristiques de croissance et de production de toxine	607
1.3.2. Conditions de sporulation et de germination des spores	608
1.4. Principales caractéristiques de résistance aux traitements de destruction	609
1.4.1. Résistance des spores	609
1.4.2. Résistance des toxines botuliques	610
2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment	611
2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence	611
2.2. Surveillance dans les aliments	612
2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène	612
3. Maladie humaine	613
3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effet sur l'Homme	613
3.1.1. Mode d'action des toxines botuliques	613
3.1.2. Symptômes du botulisme humain	614
3.1.3. Formes de botulisme d'origine alimentaire chez l'Homme	615
3.2. Relations dose-réponse	616
3.3. Diagnostic et traitement médical	616
3.3.1. Diagnostic	616
3.3.2. Traitement médical	618
3.4. Épidémiologie	619
4. Conclusion	620

## CHAPITRE 26

***Staphylococcus aureus* et autres staphylocoques producteurs d'entérotoxines**

(Jacques-Antoine Hennekinne, Florence Guillier, Sabine Herbin, Frédéric Auvray)	625
1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène	626
1.1. Nature de l'agent	626
1.1.1. Taxonomie et caractéristiques générales	626
1.1.2. Entérotoxines staphylococciques	627
1.2. Habitat et réservoir du pathogène	629
1.3. Facteurs influençant la croissance et la production d'entérotoxines staphylococciques par <i>S. aureus</i>	630
1.4. Caractéristique de résistance à la destruction de <i>S. aureus</i> et des entérotoxines dans l'aliment et chez l'hôte	631
2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment	632
2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence	632
2.2. Surveillance dans les aliments	632
2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène	633

3. Maladie humaine .....	634
3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effets sur l'Homme .....	634
3.2. Relations dose-réponse .....	635
3.3. Diagnostic et traitement médical .....	636
3.4. Épidémiologie .....	636
4. Conclusion .....	636
CHAPITRE 27	
<b>Histamine et bactéries histaminogènes (Guillaume Duflos, Gaëlle Inglebert) .....</b>	<b>639</b>
1. Nature et principales caractéristiques de l'histamine .....	640
1.1. Nature, origine et fonction de l'histamine .....	640
1.2. Origine et fonction de l'histamine dans l'organisme humain .....	640
1.3. Origine et production de l'histamine dans les aliments .....	640
1.4. Flore histaminogène et décarboxylases microbiennes .....	641
1.4.1. Flore histaminogène des aliments non fermentés .....	642
1.4.2. Flore histaminogène des aliments fermentés .....	643
1.4.3. Rôle des décarboxylases chez les microorganismes .....	644
1.4.4. Facteurs influençant l'activité des décarboxylases .....	645
2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment .....	645
2.1. Principaux aliments impliqués .....	645
2.2. Surveillance dans les aliments .....	647
2.2.1. Réglementation .....	647
2.2.2. Méthodes de détection et de quantification .....	647
2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène .....	648
2.3.1. Cas des poissons .....	648
2.3.2. Cas des aliments fermentés .....	649
3. Maladie humaine .....	650
3.1. Nature de la maladie .....	650
3.1.1. Effet sur l'Homme .....	650
3.1.2. Mécanisme de pathogénie .....	650
3.1.3. Facteurs d'influence sur les effets .....	652
3.2. Diagnostic et traitement médical .....	653
3.3. Épidémiologie .....	653
4. Conclusion .....	653
CHAPITRE 28	
<b>Virus pathogènes alimentaires (Christophe Gantzer) .....</b>	<b>659</b>
1. Nature et principales caractéristiques des agents pathogènes .....	659
1.1. Nature et taxonomie .....	659
1.2. Réplication des virus .....	661
1.3. Habitat et réservoir du pathogène .....	662
1.4. Principales caractéristiques de survie .....	663
1.4.1. Méthodes d'études .....	663
1.4.2. Survie dans l'environnement et chez l'hôte .....	663
1.5. Caractéristiques de résistance aux traitements technologiques de destruction .....	664
2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment .....	665
2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence .....	666
2.2. Surveillance dans les aliments .....	667
2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène .....	667
3. Maladie humaine .....	668
3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effets sur l'Homme .....	668
3.2. Relations dose-réponse .....	669
3.3. Diagnostic et traitement médical .....	670
3.4. Épidémiologie .....	671
4. Conclusion .....	672

## CHAPITRE 29

<b>Parasites alimentaires (Isabelle Villena)</b> .....	<b>675</b>
1. Parasites contaminant les aliments .....	675
2. <i>Entamoeba histolytica</i> .....	676
2.1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène .....	676
2.1.1. Nature de l'agent .....	676
2.1.2. Habitat et réservoir du pathogène .....	677
2.1.3. Caractéristiques de résistance aux traitements de destruction et de conservation .....	677
2.2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment .....	677
2.2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence .....	677
2.2.2. Surveillance dans les aliments .....	677
2.2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène .....	677
2.3. Maladie humaine .....	678
2.3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effets sur l'Homme .....	678
2.3.2. Relations dose-réponse .....	678
2.3.3. Diagnostic et traitement médical .....	678
2.3.4. Épidémiologie .....	679
3. <i>Cryptosporidium</i> .....	679
3.1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène .....	679
3.1.1. Nature de l'agent .....	679
3.1.2. Habitat et réservoir du pathogène .....	679
3.1.3. Caractéristiques de résistance aux traitements de destruction et de conservation .....	680
3.2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment .....	680
3.2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence .....	680
3.2.2. Surveillance dans les aliments .....	680
3.2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène .....	680
3.3. Maladie humaine .....	681
3.3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effets sur l'Homme .....	681
3.3.2. Relations dose-réponse .....	681
3.3.3. Diagnostic et traitement médical .....	681
3.3.4. Épidémiologie .....	682
4. <i>Giardia duodenalis</i> .....	682
4.1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène .....	682
4.1.1. Nature de l'agent .....	682
4.1.2. Habitat et réservoir du pathogène .....	682
4.1.3. Caractéristiques de résistance aux traitements de destruction et de conservation .....	683
4.2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment .....	684
4.2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence .....	684
4.2.2. Surveillance dans les aliments .....	684
4.2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène .....	684
4.3. Maladie humaine .....	685
4.3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effets sur l'Homme .....	685
4.3.2. Relations dose-réponse .....	685
4.3.3. Diagnostic et traitement médical .....	685
4.3.4. Épidémiologie .....	685
5. <i>Cyclospora</i> .....	686
5.1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène .....	686
5.1.1. Nature de l'agent .....	686
5.1.2. Habitat et réservoir du pathogène .....	686
5.1.3. Caractéristiques de résistance aux traitements de destruction et de conservation .....	686
5.2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment .....	686
5.2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence .....	686
5.2.2. Surveillance dans les aliments .....	687
5.2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène .....	687
5.3. Maladie humaine .....	687

5.3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effets sur l'Homme	687
5.3.2. Relations dose-réponse	687
5.3.3. Diagnostic et traitement médical	688
5.3.4. Épidémiologie	688
<b>6. <i>Toxoplasma gondii</i></b>	688
6.1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène	688
6.1.1. Nature de l'agent	688
6.1.2. Habitat et réservoir du pathogène	688
6.1.3. Caractéristiques de résistance aux traitements de destruction et de conservation	689
6.2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment	689
6.2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence	689
6.2.2. Surveillance dans les aliments	689
6.2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène	690
6.3. Maladie humaine	690
6.3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effets sur l'Homme	690
6.3.2. Relations dose-réponse	691
6.3.3. Diagnostic et traitement médical	691
6.3.4. Épidémiologie	691
<b>7. <i>Anisakis</i></b>	692
7.1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène	692
7.1.1. Nature de l'agent	692
7.1.2. Habitat et réservoir du pathogène	692
7.1.3. Caractéristiques de résistance aux traitements de destruction et de conservation	692
7.2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment	692
7.2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence	692
7.2.2. Surveillance dans les aliments	693
7.2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène	693
7.3. Maladie humaine	693
7.3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effets sur l'Homme	693
7.3.2. Relations dose-réponse	694
7.3.3. Diagnostic et traitement médical	694
7.3.4. Épidémiologie	694
<b>8. <i>Trichinella</i></b>	695
8.1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène	695
8.1.1. Nature de l'agent	695
8.1.2. Habitat et réservoir du pathogène	695
8.1.3. Caractéristiques de résistance aux traitements de destruction et de conservation	695
8.2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment	695
8.2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence	695
8.2.2. Surveillance dans les aliments	696
8.2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène	696
8.3. Maladie humaine	696
8.3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effets sur l'Homme	696
8.3.2. Relations dose-réponse	697
8.3.3. Diagnostic et traitement médical	697
8.3.4. Épidémiologie	698
<b>9. <i>Fasciola hepatica</i></b>	698
9.1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène	698
9.1.1. Nature de l'agent	698
9.1.2. Habitat et réservoir du pathogène	698
9.1.3. Caractéristiques de résistance aux traitements de destruction et de conservation	698
9.2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment	699
9.2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence	699
9.2.2. Surveillance dans les aliments	699
9.2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène	699

9.3. Maladie humaine .....	700
9.3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effets sur l'Homme .....	700
9.3.2. Relations dose-réponse .....	700
9.3.3. Diagnostic et traitement médical .....	700
9.3.4. Épidémiologie .....	700
10. <i>Taenia saginata</i> .....	701
10.1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène .....	701
10.1.1. Nature de l'agent .....	701
10.1.2. Habitat et réservoir du pathogène .....	701
10.1.3. Caractéristiques de résistance aux traitements de destruction et de conservation .....	701
10.2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment .....	702
10.2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence .....	702
10.2.2. Surveillance dans les aliments .....	702
10.2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène .....	702
10.3. Maladie humaine .....	702
10.3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effets sur l'Homme .....	702
10.3.2. Relations dose-réponse .....	703
10.3.3. Diagnostic et traitement médical .....	703
10.3.4. Épidémiologie .....	703
11. <i>Taenia solium</i> .....	703
11.1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène .....	703
11.1.1. Nature de l'agent .....	703
11.1.2. Habitat et réservoir du pathogène .....	703
11.1.3. Caractéristiques de résistance aux traitements de destruction et de conservation .....	704
11.2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment .....	704
11.2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence .....	704
11.2.2. Surveillance dans les aliments .....	704
11.2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène .....	704
11.3. Maladie humaine .....	705
11.3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effets sur l'Homme .....	705
11.3.2. Relations dose-réponse .....	705
11.3.3. Diagnostic et traitement médical .....	705
11.3.4. Épidémiologie .....	705
12. <i>Diphyllobothrium</i> .....	706
12.1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène .....	706
12.1.1. Nature de l'agent .....	706
12.1.2. Habitat et réservoir du pathogène .....	706
12.1.3. Caractéristiques de résistance aux traitements de destruction et de conservation .....	706
12.2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment .....	706
12.2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence .....	706
12.2.2. Surveillance dans les aliments .....	707
12.2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène .....	707
12.3. Maladie humaine .....	707
12.3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effets sur l'Homme .....	707
12.3.2. Relations dose-réponse .....	707
12.3.3. Diagnostic et traitement médical .....	707
12.3.4. Épidémiologie .....	708
13. <i>Echinococcus multilocularis</i> .....	708
13.1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène .....	708
13.1.1. Nature de l'agent .....	708
13.1.2. Habitat et réservoir du pathogène .....	708
13.1.3. Caractéristiques de résistance aux traitements de destruction et de conservation .....	708
13.2. Mode de transmission à l'Homme par l'aliment .....	709
13.2.1. Principaux aliments impliqués et prévalence .....	709
13.2.2. Surveillance dans les aliments .....	709

13.2.3. Moyens de maîtrise et bonnes pratiques d'hygiène .....	710
13.3. Maladie humaine .....	710
13.3.1. Nature de la maladie : mécanisme de pathogénie et effets sur l'Homme .....	710
13.3.2. Relations dose-réponse .....	710
13.3.3. Diagnostic et traitement médical .....	710
13.3.4. Épidémiologie .....	711
14. Conclusion .....	711
CHAPITRE 30	
<b>Prion : un agent infectieux de nature protéique</b> (Angélique Igel-Egalon, Vincent Béringue, Thomas Maignien) .....	717
1. Nature et principales caractéristiques de l'agent pathogène .....	717
1.1. Nature de l'agent pathogène .....	717
1.2. Propagation chez l'hôte .....	719
1.3. Effets chez l'hôte .....	721
1.4. Habitats et réservoirs du pathogène .....	722
2. Transmission d'une EST à l'Homme par l'aliment : cas de la variante de la maladie de Creutzfeldt-Jakob .....	723
2.1. Apparition du vMCJ chez l'Homme .....	723
2.2. Progression de l'ESB à l'origine du vMCJ .....	724
2.3. Risque ESB chez les petits ruminants .....	724
2.4. Bilan actuel de l'épidémie de vMCJ, un bilan définitif ? .....	725
3. Principales mesures de maîtrise du risque EST .....	726
3.1. Destruction des prions .....	726
3.2. Interdiction de l'utilisation des farines de viandes et d'os en alimentation animale .....	727
3.3. Retrait et destruction des tissus les plus infectieux : matériels à risque spécifiés .....	728
3.4. Surveillance des EST .....	730
3.5. Police sanitaire relative aux EST .....	731
4. Évolution épidémiologique de l'ESB classique : une résultante des mesures de maîtrise .....	732
5. Problématiques des EST animales autres que l'ESB classique .....	732
5.1. Découverte d'autres souches d'ESB .....	732
5.2. Risque zoonotique des autres maladies à prion animales .....	733
6. Perspectives sur les mesures de gestion du risque EST .....	735
7. Conclusion .....	736
CHAPITRE 31	
<b>Mycotoxines et moisissures toxigènes</b> (Florence Forget-Richard, Isabelle Oswald) .....	743
1. Nature et origine de la contamination des denrées alimentaires par des mycotoxines .....	744
1.1. Principales mycotoxines susceptibles d'être retrouvées dans l'alimentation et moisissures toxigènes associées .....	744
1.2. Structure chimique des mycotoxines et voie de biosynthèse .....	747
1.2.1. Mycotoxines issues de la voie des polyacétates .....	748
1.2.2. Mycotoxines dérivées des acides aminés .....	748
1.2.3. Mycotoxines dérivées des terpènes .....	749
1.3. Conditions conduisant à la contamination des denrées alimentaires .....	749
1.3.1. Conditions de croissance des moisissures toxigènes .....	750
1.3.2. Conditions de production des mycotoxines .....	751
2. Exposition de l'Homme aux mycotoxines .....	752
2.1. Voies d'exposition .....	752
2.2. Réglementations .....	753
2.3. Moyens de maîtrise .....	755
2.3.1. Plans de surveillance et méthodes analytiques .....	755
2.3.2. Prévention de la contamination (plein champ et stockage) .....	757
2.3.3. Décontamination des produits alimentaires .....	759

3. Conséquences toxicologiques des mycotoxines .....	760
3.1. Toxicité des mycotoxines « majeures » .....	760
3.2. Toxicité des « autres » mycotoxines .....	762
3.3. Problème de l'évaluation de la toxicité des mélanges .....	763
4. Conclusion .....	763
CHAPITRE 32	
<b>Toxines produites par les microalgues et cyanobactéries (Muriel Gugger, Aurélie Ledreux) . . .</b>	<b>767</b>
1. Cyanotoxines dans les eaux de boisson et récréatives .....	769
1.1. Diversité des cyanotoxines et des organismes producteurs .....	769
1.2. Neurotoxines .....	771
1.2.1. Anatoxines-a .....	771
1.2.2. Anatoxine-a(S) .....	772
1.2.3. Saxitoxines .....	772
1.3. Hépatotoxines et cytotoxines .....	773
1.3.1. Microcystines et nodularines .....	773
1.3.2. Cylindrospermopsines .....	774
2. Toxines de microalgues et dérivés dans la chaîne trophique .....	774
2.1. Diversité chimique des phycotoxines et organismes producteurs .....	774
2.2. Toxines hydrophiles .....	775
2.2.1. Saxitoxines .....	775
2.2.2. Acide domoïque et ses dérivés .....	777
2.2.3. Palytoxines et analogues .....	777
2.3. Toxines lipophiles .....	779
2.3.1. Toxines diarrhéiques .....	779
2.3.2. Azaspiracides .....	780
2.3.3. Yessotoxines .....	780
2.3.4. Brévéttoxines .....	781
2.3.5. Ciguatoxines .....	782
2.3.6. Imines cycliques .....	783
3. Réglementation sur les phycotoxines et cyanotoxines dans notre alimentation .....	784
3.1. Recommandations liées aux cyanotoxines .....	784
3.2. Réglementations et méthodes officielles d'analyses pour les phycotoxines .....	784
4. Conclusion .....	786
<b>Index .....</b>	<b>793</b>

## INTRODUCTION

---

MURIELLE NAÏTALI, LAURENT GUILLIER, FLORENCE DUBOIS-BRISSONNET

Cet ouvrage propose une nouvelle approche de la dernière édition des deux tomes du livre *Microbiologie alimentaire* de 1996 (Bourgeois *et al.*, 1996 ; Bourgeois et Larpent, 1996). Il a été choisi de ne plus traiter conjointement des deux aspects de la microbiologie alimentaire, à savoir les flores technologiques et les contaminants microbiens, mais de consacrer un ouvrage complet aux risques microbiologiques dans les aliments. Celui-ci traite des dangers microbiologiques alimentaires majeurs (microorganismes infectieux ou toxines d'origine microbienne) et du risque associé (fonction de la gravité du danger et de la probabilité d'apparition des effets délétères) pour l'Homme.

Les maladies humaines infectieuses ou toxiques d'origine alimentaire sont pour la plupart des anadémies, c'est-à-dire des maladies épidémiques non contagieuses contractées à partir d'une source commune. Le nombre de cas par foyer est généralement faible, entre 3 et 30 (InVS, 2016), mais il peut être beaucoup plus important dans certaines circonstances particulières. Par exemple, 10 000 cas au Japon ont été constatés en 2000 lors d'une intoxication liée à une entérotoxine de *Staphylococcus aureus* dans du lait reconstitué (Ikeda *et al.*, 2005). Les maladies d'origine alimentaire sont généralement peu mortelles mais peuvent avoir un impact économique important, d'une part à cause du coût lié aux soins et d'autre part par les répercussions au niveau de la filière concernée (chute des ventes, fermeture d'usines, etc.). Les maladies dues à des agents biologiques entéropathogènes sont regroupées sous le nom de toxi-infections alimentaires collectives (TIAC) et sont soumises à une déclaration obligatoire commune si au moins deux personnes sont atteintes à partir d'une même source alimentaire. Depuis une dizaine d'années, le nombre de TIAC en France est relativement constant avec environ 10 000 cas/an (12 109 cas en 2014 parmi lesquels 2 997 seulement ont permis la confirmation de l'agent impliqué) (InVS, 2016). Les maladies provoquées par des agents non entéropathogènes sont généralement déclarées séparément (listériose, botulisme, etc.). D'après les estimations du rapport *Morbidité et mortalité dues aux maladies infectieuses d'origine alimentaire en France* publié en 2004 par l'InVS et l'Afssa, les chiffres correspondant aux maladies déclarées seraient largement sous-évalués. Le nombre réel de maladies bactériennes d'origine alimentaire en France se situerait plus probablement entre 52 000 et 82 000 cas/an, auxquels on peut ajouter environ 70 000 cas liés à des virus et 117 000 cas liés aux parasites, ce qui donne un total d'environ 250 000 cas (InVS et Anses, 2004). Des travaux récents sur l'estimation de l'incidence « réelle » dans la population générale des infections à *Campylobacter* et *Salmonella* réalisés à partir de différentes sources de données (telles que des bases médico-administratives et des systèmes de surveillance) indiquent que le nombre de cas pourrait être encore plus élevé (Van Cauteren *et al.*, 2015).

La première partie du livre fait le point sur les notions fondamentales relatives aux dangers microbiologiques en lien avec les aliments. Nous avons tenté de répondre aux questions suivantes :

- Comment l'ingestion d'un aliment peut-elle provoquer une maladie d'origine microbienne ? Ceci amène à traiter du cycle de contamination depuis l'habitat/réservoir des microorganismes pathogènes à l'origine de la contamination des aliments jusqu'à l'Homme où ils expriment leur pouvoir pathogène (chapitre 1).

- Quels sont les moyens permettant la maîtrise des microorganismes pathogènes durant la transformation et la conservation des aliments ? Cette maîtrise peut passer par une inhibition du développement microbien (chapitre 2) ou par une inactivation des microorganismes pathogènes (chapitre 3). La maîtrise est souvent multifactorielle et combine ces deux aspects. La microbiologie prévisionnelle qui modélise la croissance et l'inactivation, et les bases de données associées sont des outils supplémentaires qui se sont considérablement développés ces dernières années (chapitre 4). Ils aident notamment à la détermination de la durée de vie microbiologique des aliments qui constitue un élément fondamental de maîtrise du risque microbiologique.
- Comment les microorganismes peuvent-ils engendrer un risque pour la sécurité des aliments malgré les moyens de maîtrise mis en place ? Trois axes de réponse à cette question sont abordés. Le chapitre 5 concerne des aspects de physiologie microbienne relatifs à la persistance des bactéries pathogènes dans les environnements agro-industriels, à savoir le stress microbien (réponse adaptative des cellules végétatives à des conditions sub-optimales) et la formation de structures particulières unicellulaires ou pluricellulaires de résistance (cellules viables non cultivables, spores et biofilms). Le chapitre 6 explique les facteurs d'évolution du risque microbiologique en intégrant des notions liées aux microorganismes, aux modes de transformation, de conservation ou de consommation des aliments et à la sensibilité des consommateurs. Enfin, le risque alimentaire peut parfois être d'origine intentionnelle (bio-terrorisme), ce qui nécessite des moyens de maîtrise et de gestion particuliers (chapitre 7).

Cette première partie reprend ainsi des notions fondamentales de microbiologie générale, de physiologie microbienne et de modélisation, en les appliquant aux microorganismes pathogènes des aliments et en y intégrant les dernières connaissances relatives à ces sujets.

La deuxième partie présente les outils de gestion du risque microbiologique au niveau européen et français. La mise sur le marché de denrées alimentaires passe par des décisions politiques (traduites par des textes juridiques et la mise en place de structures étatiques) basées sur des connaissances scientifiques (issues d'avis d'experts) (Debure, 2012). Différentes crises sanitaires chimiques et biologiques ont conduit l'Union européenne à mettre en œuvre un nouveau fonctionnement se traduisant par la mise en place d'institutions (telles que l'Autorité européenne de sécurité des aliments) et de réglementations (*Food Law*, Paquet Hygiène) pour assurer la qualité sanitaire, notamment microbiologique, des aliments ; celles-ci sont présentées dans le chapitre 8. Pour permettre des échanges internationaux, des méthodes de sécurité sanitaire sont définies par des organisations internationales intergouvernementales ou privées telles que la Commission du *Codex Alimentarius* (CAC, *Codex Alimentarius Commission*) (Debure, 2012). Cette dernière a promulgué le développement de la méthode d'analyse des dangers et des points critiques pour leur maîtrise (HACCP, *Hazard Analysis and Critical Control Points*) (Debure, 2012). Intégrée dans le Paquet Hygiène, c'est un des trois points, avec les bonnes pratiques d'hygiène et la traçabilité, de ce qui est nommé en France le plan de maîtrise sanitaire (PMS). Le PMS et l'HACCP sont présentés dans le chapitre 9. Le chapitre 10 traite des aspects managériaux de l'HACCP et décrit deux exemples concrets d'application.

Pour tenter de maîtriser la sécurité microbiologique des aliments et de prévenir les crises sanitaires alimentaires, la surveillance des microorganismes depuis la production primaire jusqu'à la distribution des denrées alimentaires, en passant par la transformation, est indispensable. Elle nécessite des organisations institutionnelles et la mise en place de plans de contrôle et de surveillance qui sont décrits, en ce qui concerne la France, dans le chapitre 11. En pratique, cette surveillance est basée en partie sur l'utilisation de méthodes d'analyses microbiologiques normalisées ou validées (chapitre 12). Ces méthodes sont également utilisées pour vérifier et valider le bon fonctionnement des plans HACCP mis

en place par l'exploitant. La surveillance des maladies d'origine alimentaire est un autre moyen d'évaluer l'efficacité des mesures préventives adoptées tout au long de la chaîne de production alimentaire et de les faire évoluer le cas échéant. Le chapitre 13 décrit ce système de surveillance tel qu'il est mis en place en France.

Le chapitre 14 explicite l'analyse et la gestion des risques, promues depuis une dizaine d'années par la CAC afin de ne pas entraver injustement le commerce international, et intégrées dans la *Food Law*. Celles-ci permettent de lier les actions mises en place pour la sécurité sanitaire à des objectifs en termes de santé publique (EFSA, 2007). Le chapitre 15 quant à lui analyse les différents aspects de gestion d'une crise sanitaire alimentaire d'origine microbienne à travers un exemple national.

Un des piliers de la gestion des risques microbiologiques est la connaissance la plus complète possible des dangers. La troisième partie de ce livre est donc constituée de monographies de microorganismes avérés ou émergents d'intérêt, qu'ils soient infectieux et/ou toxigènes. Ceux-ci incluent non seulement les principales bactéries pathogènes alimentaires (chapitres 16 à 26) dont les microorganismes histaminogènes (chapitre 27), mais également des virus (chapitre 28), des parasites (chapitre 29) et des prions (chapitre 30). Les moisissures (chapitre 31), les cyanobactéries et les micro-algues (chapitre 32) toxigènes sont abordées bien que les myco-, phyco- et cyanotoxines soient habituellement considérées dans le cadre des dangers chimiques. La plupart de ces agents pathogènes est classée dans les groupes de pathogénie 2 et 3 tels que définis à l'article R. 4421-3 du Code du travail. Cet article fixe les niveaux croissants de pathogénie de 1 à 4 en fonction de la possibilité d'engendrer une maladie chez l'Homme, de se disséminer dans l'environnement et de l'existence de moyens prophylactiques ou thérapeutiques (Anonyme, 2008). La liste des agents pathogènes (groupes 2 à 4) est donnée par l'arrêté du 18 juillet 1994 modifié par l'arrêté 17 avril 1997 et celui du 30 juin 1998 (Anonyme, 1994, 1997, 1998). Les monographies présentées traitent des microorganismes pathogènes ou des métabolites d'origine microbienne les plus importants en termes de prévalence et/ou d'effet sur la santé. Elles ne sont pas exhaustives et ne considèrent par exemple ni *Shigella* ni les *Escherichia coli* entéro-pathogènes autres que ceux producteurs de Shiga-toxines.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

Anonyme (1994). Arrêté du 18 juillet 1994 fixant la liste des agents pathogènes. *JORF* n° 175 du 30/07/1994, 11078-11081.

Anonyme (1997). Arrêté du 17 avril 1997 relatif à la liste des agents pathogènes et modifiant l'arrêté du 18 juillet 1994. *JORF* n° 98 du 26/04/1997, 6361-6362.

Anonyme (1998). Arrêté du 30 juin 1998 relatif à la liste des agents pathogènes et modifiant l'arrêté du 18 juillet 1994. *JORF* n° 167 du 22/07/1998, 11207.

Anonyme (2008). Article R. 4421-3 créé par décret n° 2008-244 du 7 mars 2008 – Article V. Code du travail, partie réglementaire, 4<sup>e</sup> partie, livre IV, titre II, chapitre I<sup>er</sup>.

Bourgeois CM, Mesle JF, Zucca J (1996). *Microbiologie alimentaire. Tome 1 – Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments*. Lavoisier Tec&Doc, Paris.

Bourgeois CM, Larpent JP (1996). *Microbiologie alimentaire. Tome 2 – Aliments fermentés et fermentations alimentaires*. Lavoisier Tec&Doc, Paris.

Debure A (2012). Crédibiliser pour expertiser : le *Codex Alimentarius* et les comités d'experts FAO-OMS dans la production réglementaire internationale de sécurité sanitaire des aliments. Thèse de doctorat en sociologie. École des hautes études en sciences sociales, Paris.

EFSA (2007). Microbiological criteria and targets based on risk analysis. *EFSA J*, **4**(2) : 1-29.

- Ikeda T, Tamate N, Yamaguchi K, Makin S (2005). Mass outbreak of food poisoning disease caused by small amounts of staphylococcal enterotoxins A and H. *Appl Environ Microbiol*, **71** : 2793-2795.
- InVS (2016). Surveillance des toxi-infections alimentaires collectives. Données de la déclaration obligatoire en 2014. Disponible en ligne sur : <http://www.invs.sante.fr/Dossiers-thematiques/Maladies-infectieuses/Maladies-a-declaration-obligatoire/Toxi-infections-alimentaires-collectives/Donnees-epidemiologiques>.
- InVS, Anses (2004). Morbidité et mortalité dues aux maladies infectieuses d'origine alimentaire en France. Disponible en ligne sur : [http://www.invs.santefr/publications/2004/inf\\_origine\\_alimentaire/inf\\_origine\\_alimentairepdf](http://www.invs.santefr/publications/2004/inf_origine_alimentaire/inf_origine_alimentairepdf).
- Van Cauteren D, De Valk H, Sommen C *et al.* (2015). Community incidence of campylobacteriosis and non-typhoidal salmonellosis, France, 2008-2013. *Foodborne Path Dis*, **12** : 664-666.