

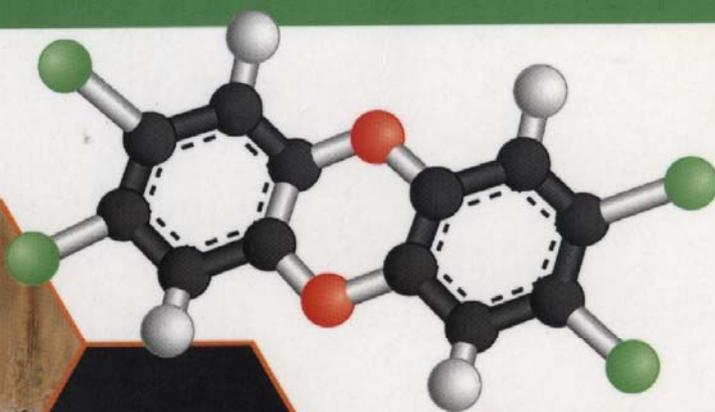
SCIENCES & TECHNIQUES  
AGROALIMENTAIRES



# Risques chimiques liés aux aliments

Principes et applications

VALÉRIE CAMEL, GILLES RIVIÈRE,  
BRUNO LE BIZEC  
Coordonnateurs



Risques  
pour  
l'Homme ?

**L**avoisier  
TEC & DOC

# SOMMAIRE

Liste des auteurs .....	V
Liste des sigles, abréviations et acronymes .....	IX
Préface (Roger Genet) .....	XXVII
Avant-propos (Valérie Camel, Gilles Rivière, Bruno Le Bizec) .....	XXIX
Introduction (Bruno Le Bizec, Gilles Rivière, Valérie Camel) .....	1

## Méthodologie d'évaluation du risque chimique alimentaire

Introduction à la partie 1 (Gilles Rivière) .....	13
---	----

### CHAPITRE 1

<b>Identification du danger (Nathalie Printemps, Christophe Rousselle)</b> .....	<b>15</b>
1. Établissement du profil toxicologique des substances .....	15
2. Méthodes de prédiction de la dangerosité des substances .....	17
2.1. Données humaines .....	17
2.2. Données animales .....	18
2.3. Expérimentation <i>in vitro</i> .....	20
2.4. Méthodes <i>in silico</i> .....	20
2.5. Méthodes <i>in chemico</i> .....	23
2.6. Méthodes dites « omiques » .....	23
3. Classification des substances chimiques .....	24
4. Conclusion .....	24

### CHAPITRE 2

<b>Caractérisation du danger (Laurent Bodin, Aurélie Mathieu-Huart)</b> .....	<b>27</b>
1. Généralités sur les valeurs de référence ou VTR .....	27
1.1. Définition .....	27
1.2. Principe de construction d'une VTR (hypothèses de construction) .....	28
1.3. Prise en compte des conditions d'exposition .....	29
2. Caractérisation des relations dose-réponse .....	31
2.1. Choix des doses critiques à considérer .....	31
2.2. Détermination de la <i>benchmark dose</i> et choix du niveau de risque .....	32
2.3. Ajustement temporel et allométrique .....	33
2.4. Choix des facteurs d'incertitude .....	33
2.5. Facteurs d'incertitude et modèles pharmacocinétiques à base physiologique (PBPK) .....	35
2.6. Niveau de confiance de la VTR .....	35
3. Perspectives .....	36
3.1. Meilleure prise en compte de la gravité de l'effet, de sa réversibilité .....	36
3.2. VTR à partir de données épidémiologiques .....	36
3.3. VTR et sous-groupes de population vulnérable .....	37
3.4. VTR sur les mélanges .....	37

### CHAPITRE 3

<b>Exposition alimentaire aux contaminants chimiques et caractérisation du risque chronique (Gilles Rivière, Véronique Sirot)</b> .....	<b>39</b>
1. Exposition aux contaminants chimiques <i>via</i> les aliments .....	39
1.1. Données de consommation alimentaire .....	40

1.2. Données de contamination des denrées alimentaires.....	42
1.3. Méthodes de calculs d'exposition .....	44
2. Caractérisation du risque.....	48
2.1. Substances à seuil de dose .....	48
2.2. Substances sans seuil de dose .....	49
3. Conclusion .....	50
<b>CHAPITRE 4</b>	
<b>Évaluation de l'exposition à partir de données d'imprégnation (Florence Zeman, Céline Brochot) .....</b>	<b>51</b>
1. Modélisation toxicocinétique compartimentale et basée sur la physiologie (PBPK) .....	53
1.1. Modélisation toxicocinétique compartimentale.....	53
1.2. Modélisation toxicocinétique ou pharmacocinétique basée sur la physiologie (PBPK) .....	54
2. Cas des composés persistants : exemple des polychlorobiphényles (PCB) .....	57
3. Cas des composés non persistants : exemple du di(2-éthylhexyl)phtalate (DEHP).....	60
4. Conclusion .....	63
<b>CHAPITRE 5</b>	
<b>Agrégation des expositions (Guillaume Perouel) .....</b>	<b>65</b>
1. Identification des sources d'exposition à une substance chimique .....	66
2. Méthode de calculs de l'exposition agrégée.....	67
3. Exemple des travaux d'expertise de l'Anses sur l'exposition des enfants de moins de 6 ans au plomb .....	69
4. Conclusion et perspectives .....	73
<b>CHAPITRE 6</b>	
<b>Analyse d'incertitude (Sandrine Fraize-Frontier) .....</b>	<b>75</b>
1. Définition de l'incertitude.....	76
2. Classification des sources d'incertitude .....	76
2.1. Classe « Contexte ».....	77
2.2. Classe « Méthode ».....	77
2.3. Classe « Communication ».....	78
3. Démarche d'analyse d'incertitude .....	79
3.1. Étape préliminaire – Planification de l'analyse d'incertitude.....	80
3.2. Étape 1 – Identification et description des sources d'incertitude .....	81
3.3. Étape 2 – Évaluation individuelle des incertitudes.....	84
3.4. Étape 3 – Évaluation de l'incertitude combinée .....	84
3.5. Étape 4 – Hiérarchisation des sources d'incertitude .....	85
3.6. Étape 5 – Communication des résultats de l'analyse d'incertitude .....	86
4. Conclusion .....	86
<b>Gestion du risque</b>	
<b>Introduction à la partie 2 (Karine Boquet).....</b>	<b>91</b>
1. L'analyse de risque, un outil d'aide à la prise de décision pour faire face aux risques chimiques.....	91
2. Un cadre de gestion des risques commun aux États membres de l'Union européenne .....	92
3. La maîtrise des risques chimiques d'origine alimentaire repose surtout sur la responsabilité des acteurs économiques .....	93
4. La nécessaire communication auprès du grand public afin de redonner confiance .....	94

## CHAPITRE 7

**Gestion des risques chimiques aux plans mondial, européen et national (Jean-Luc Angot) . . . . . 95**

- 1. La gestion au plan mondial . . . . . 95
  - 1.1. Résidu et contaminant : définition de l'OMS . . . . . 95
  - 1.2. *Codex Alimentarius* . . . . . 95
- 2. La gestion du risque au plan européen . . . . . 96
  - 2.1. La réglementation européenne . . . . . 96
  - 2.2. La gouvernance sanitaire européenne . . . . . 98
- 3. La gestion au plan national . . . . . 99
  - 3.1. La réglementation et sa mise en œuvre . . . . . 99
  - 3.2. La gouvernance sanitaire française . . . . . 101
  - 3.3. Les évolutions prévues . . . . . 102
- 4. Conclusion . . . . . 103

## CHAPITRE 8

**Responsabilités juridiques des acteurs de la gestion des risques (Pierre-Étienne Bouillot, Gaël Thévenot) . . . . . 105**

- 1. Les risques chimiques comme fondement de la responsabilité . . . . . 106
  - 1.1. La nature juridique des risques chimiques liés à l'alimentation . . . . . 107
  - 1.2. Les mécanismes de responsabilités pouvant être mis en œuvre . . . . . 108
- 2. La mise en œuvre de la responsabilité dans le cadre des risques chimiques liés à l'aliment . . . . . 110
  - 2.1. L'engagement de la responsabilité facilité dans certains cas . . . . . 111
  - 2.2. L'engagement de la responsabilité complexifié face à l'incertitude scientifique . . . . . 113
- 3. Conclusion et perspectives . . . . . 116

## CHAPITRE 9

**Apport de l'économie du risque dans la gestion des risques (Caroline Orset) . . . . . 119**

- 1. Les risques chimiques dans l'aliment et leurs impacts économiques . . . . . 122
- 2. La perception du risque . . . . . 123
- 3. Les méthodes économiques . . . . . 125
  - 3.1. Théorie : modèles de la valeur d'option et des options réelles . . . . . 125
  - 3.2. Méthodes empiriques . . . . . 129
- 4. Conclusion . . . . . 134

## CHAPITRE 10

**Perception des risques chimiques dans l'alimentation (Emmanuelle Lefranc) . . . . . 137**

- 1. Le paradoxe de la perception des risques chimiques alimentaires . . . . . 137
- 2. La spécificité des risques alimentaires attribuables aux produits chimiques . . . . . 139
- 3. Les individus sont-ils irrationnels face aux risques chimiques ? . . . . . 140
- 4. L'information est-elle (in)suffisante ? . . . . . 142
- 5. Les risques à l'épreuve des controverses et de la gestion de l'incertitude . . . . . 144
- 6. Conclusion . . . . . 146

## CHAPITRE 11

**Recommandations de consommation : un outil peu efficace pour réduire les risques (Sandrine Blanchemanche) . . . . . 149**

- 1. Une expérimentation de terrain pour évaluer les changements de comportement de consommation des ménages . . . . . 149

2. Un faible impact de l'information sur les consommations .....	150
3. Une faible mémorisation des informations .....	151
4. Un ancrage fort des valeurs nutritionnelles positives du poisson .....	151
5. Conclusion .....	152

## Exemples concrets

Introduction à la partie 3 (Cyril Feidt) .....	157
--	-----

### CHAPITRE 12

<b>Évaluation des risques alimentaires liés au cadmium (Julien Jean, Géraldine Carne)</b> .....	<b>159</b>
1. Principales caractéristiques toxicologiques .....	159
1.1. Toxicité chez l'Homme .....	159
1.2. Valeur toxicologique de référence .....	159
2. Occurrence du cadmium dans les aliments .....	160
2.1. Le Cd : un contaminant environnemental .....	160
2.2. Les aliments les plus contaminés en cadmium .....	161
3. Évaluation des risques liés à l'exposition alimentaire de la population générale au cadmium .....	162
3.1. Évaluation des expositions alimentaires de la population générale (enfants et adultes) .....	163
3.2. Évaluation des risques pour la population générale .....	164
3.3. Identification des leviers d'action pour diminuer les expositions alimentaires au cadmium .....	165
4. Mesures de gestion possibles pour diminuer les expositions alimentaires de la population générale au cadmium .....	166
4.1. Levier « réglementaire » : les teneurs maximales réglementaires .....	166
4.2. Levier « consommation » : recommandations de consommation .....	168
4.3. Levier « source » : mesures de gestion à la source .....	168
5. Conclusion .....	170

### CHAPITRE 13

<b>Évaluation du risque mercure dans les aliments (Jean-Claude Amiard)</b> .....	<b>173</b>
1. Formes chimiques du mercure .....	174
1.1. Bioaccessibilité, biodisponibilité, bioaccumulation et bioamplification .....	175
1.2. Préparations culinaires .....	175
2. Toxicité du mercure .....	176
3. Voies d'exposition au mercure .....	177
3.1. Exposition par la voie alimentaire .....	177
3.2. Imprégnation au mercure .....	178
4. Diverses valeurs limites concernant le mercure .....	179
4.1. Concentrations maximales admissibles dans les aliments .....	179
4.2. Valeurs toxicologiques de référence pour le mercure .....	180
5. Exemples d'effets sanitaires dus à la consommation de mercure avec des aliments .....	180
5.1. L'accident de Minamata .....	181
5.2. L'exposition de la population amérindienne Wayana de Guyane .....	182
5.3. L'utilisation du pesticide Panogen .....	183
5.4. Les risques sanitaires des Féringiens se nourrissant de mammifères marins (globicéphales) .....	184
6. Gestion du risque mercure .....	185
6.1. La balance entre bénéfices et risques .....	185
6.2. Les recommandations alimentaires .....	185
7. Conclusion .....	186

## CHAPITRE 14

<b>Chlordécone aux Antilles françaises (Cyril Feidt)</b> .....	<b>191</b>
1. La genèse et le déroulé de la crise .....	191
1.1. Présentation de la molécule .....	191
1.2. Alerte précoce : la crise d'Hopewell en 1975 .....	192
1.3. Alertes en série : déclenchement de la crise aux Antilles françaises .....	194
2. Le transfert vers les aliments .....	197
2.1. Milieu aquatique .....	197
2.2. Milieu terrestre .....	200
3. L'évaluation du risque sanitaire .....	204
3.1. Dérivation de la VTR chlordécone .....	204
3.2. Comment établir l'exposition ? .....	204
3.3. Évaluation du risque sanitaire .....	207
3.4. Une autre construction : la dose interne .....	207
4. La gestion de la crise .....	208
4.1. Une connaissance générée par à-coups ? .....	208
4.2. Quelles pistes pour la gestion ? .....	209
4.3. Les conséquences sociales de la crise .....	214
5. Conclusion .....	215

## CHAPITRE 15

<b>Contaminants néoformés dans les aliments (Valérie Camel, Mathieu Cladière)</b> .....	<b>219</b>
1. Présentation des néoformés .....	219
1.1. Procédés ou processus à l'origine des néoformés .....	219
1.2. Principaux contaminants néoformés et aliments concernés .....	220
2. Amines aromatiques hétérocycliques .....	220
2.1. Présentation des molécules .....	221
2.2. Toxicité .....	223
2.3. Présence dans les aliments .....	224
2.4. Évaluation du risque lié aux amines aromatiques hétérocycliques .....	227
2.5. Gestion du risque .....	228
3. Acrylamide .....	228
3.1. Présentation de la molécule .....	228
3.2. Toxicité .....	229
3.3. Présence dans les aliments .....	230
3.4. Évaluation du risque lié à l'acrylamide .....	233
3.5. Gestion du risque .....	234
4. Carbamate d'éthyle .....	235
4.1. Présentation de la molécule .....	236
4.2. Toxicité .....	236
4.3. Présence dans les aliments .....	237
4.4. Évaluation du risque lié au carbamate d'éthyle .....	239
4.5. Gestion du risque .....	241
5. Analyse comparative de ces trois exemples .....	243

## CHAPITRE 16

<b>Matériaux et objets au contact des denrées alimentaires (Fabien Bolle)</b> .....	<b>247</b>
1. Migration/libération - Établissement des limites .....	248
1.1. Terminologie : « migration, libération, passivation, dissolution » .....	248
1.2. Établissement des limites dans le cadre du règlement plastique .....	248
1.3. Établissement des limites selon la résolution Métaux du Conseil de l'Europe .....	250

2. Contexte réglementaire aux plans français et européen .....	250
2.1. Le règlement (CE) n° 1935/2004 dit « règlement cadre » .....	252
2.2. Les autres textes harmonisés au niveau de l'Union européenne .....	252
2.3. Les organes et textes réglementaires du Conseil de l'Europe .....	253
2.4. La réglementation française sur les matériaux au contact des aliments .....	254
3. Risques liés aux matériaux plastiques .....	256
3.1. Le règlement concernant les matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires .....	256
3.2. Le bisphénol A .....	257
3.3. La migration des plastifiants .....	259
4. Risques liés aux métaux et alliages .....	262
4.1. L'aluminium .....	263
4.2. Les aciers inoxydables : la problématique du nickel .....	265
5. Risques liés aux encres .....	267
5.1. Présentation .....	267
5.2. La « crise ITX » .....	268
6. Conclusions et perspectives .....	269

## CHAPITRE 17

<b>Mycotoxines dans les filières agroalimentaires (Jean-Marc Fremy, Sylviane Dragacci) .....</b>	<b>273</b>
1. La problématique .....	273
1.1. Une histoire récente ? .....	273
1.2. Comment surviennent-elles ? .....	273
1.3. Que deviennent-elles dans les filières agroalimentaires ? .....	274
1.4. Quelles toxicités ? .....	274
1.5. Quelles mycotoxines d'intérêt sanitaire ? .....	274
2. L'évaluation du risque .....	276
2.1. Identification du danger .....	276
2.2. Caractérisation du danger .....	278
2.3. Exposition et évaluation du risque pour la population française .....	280
3. La gestion des risques .....	282
3.1. Les acteurs et les niveaux de gestion .....	282
3.2. Au niveau du champ .....	283
3.3. Au niveau de la récolte et du stockage .....	284
3.4. Au niveau de la transformation .....	284
3.5. Au niveau de la consommation .....	285
3.6. Surveillance, réglementations et contrôles .....	285
4. Les perspectives d'évolution des risques .....	286
4.1. Les techniques de culture .....	286
4.2. Le changement climatique .....	286
4.3. Le comportement du consommateur .....	287
5. Conclusion .....	287

## CHAPITRE 18

<b>Biotoxines marines dans les coquillages (Virginie Hossen) .....</b>	<b>289</b>
1. Historique .....	291
2. Des teneurs maximales et des méthodes analytiques définies au niveau européen .....	293
3. Des seuils fondés sur une évaluation des risques toxicologiques .....	294
3.1. Cas de l'acide okadaïque et de ses dérivés dinophysistoxines .....	294
3.2. Cas des palytoxines .....	298

4. Une gestion des risques fondée sur la surveillance du milieu marin et des produits mis sur le marché .....	300
4.1. L'organisation de la surveillance en France .....	300
4.2. Le REPHY, Réseau d'observation et de surveillance du phytoplancton et des phycotoxines .....	301
5. Conclusions et perspectives .....	305
<b>CHAPITRE 19</b>	
<b>Résidus de pesticides dans les aliments (Xavier Sarda, Mathilde Merlo, Alexandre Nougadère) .....</b>	<b>309</b>
1. L'évaluation <i>a priori</i> des expositions et des risques alimentaires .....	309
1.1. L'évaluation européenne des substances actives phytopharmaceutiques .....	310
1.2. Les étapes de l'évaluation du risque pour les consommateurs .....	310
1.3. La mise sur le marché des préparations phytopharmaceutiques et les nouveaux enjeux .....	316
2. La surveillance <i>a posteriori</i> des expositions et des risques alimentaires .....	319
2.1. Contexte réglementaire et surveillance européenne .....	319
2.2. Surveillance nationale .....	319
3. Conclusion et perspectives .....	328
<b>CHAPITRE 20</b>	
<b>Résidus de médicaments vétérinaires (Hervé Pouliquen, Yassine Mallem) .....</b>	<b>333</b>
1. Dispositions législatives et réglementaires .....	334
1.1. Dispositions nationales et communautaires européennes .....	334
1.2. Définition législative du médicament vétérinaire .....	335
2. Mise sur le marché .....	336
2.1. Les procédures d'AMM .....	336
2.2. Le dossier de demande d'AMM .....	337
3. Évaluation des risques liés à la présence de résidus dans les denrées alimentaires d'origine animale .....	338
3.1. Définitions .....	338
3.2. Démarche de fixation des limites maximales de résidus .....	340
3.3. Fixation des temps d'attente .....	342
4. Conséquences pratiques de la fixation des LMR et de la détermination des temps d'attente .....	344
4.1. La prescription .....	344
4.2. Les plans de contrôles et de surveillance .....	345
5. Conclusions et perspectives .....	345
<b>CHAPITRE 21</b>	
<b>Composés interdits dans les filières : cas particulier des promoteurs de croissance (Gaud Dervilly-Pinel, Bruno Le Bizec) .....</b>	<b>347</b>
1. Évaluation du risque associé aux promoteurs de croissance interdits dans les filières .....	348
1.1. Promoteurs de croissance et contexte de leur utilisation en production animale .....	348
1.2. Évaluation des risques toxicologiques et propositions de limites maximales de résidus .....	351
2. Gestion du risque .....	354
2.1. Cadre réglementaire .....	354
2.2. Évolution des contrôles .....	356
3. Conclusion .....	359
<b>CHAPITRE 22</b>	
<b>Quelques exemples de crises sanitaires récentes liées aux contaminants chimiques (Valérie Camel) .....</b>	<b>363</b>
1. L'événement PCB/PCDF en élevage avicole (Belgique, 1999) .....	363
1.1. Genèse et historique de la crise .....	363

1.2. Gestion de la crise	366
1.3. Conséquences sanitaires	368
1.4. Conséquences économiques	370
1.5. Conséquences politiques	370
1.6. Conséquences réglementaires	370
2. L'événement PCB en élevage porcin (République d'Irlande, 2008)	371
2.1. Genèse et historique de la crise	372
2.2. Gestion de la crise	373
2.3. Conséquences	374
3. L'événement mélamine dans l'industrie laitière (République populaire de Chine, 2008)	375
3.1. Genèse et historique de la crise	376
3.2. Gestion de la crise	378
3.3. Conséquences sanitaires	379
3.4. Conséquences économiques	380
3.5. Conséquences pénales et politiques	381
3.6. Conséquences réglementaires	381
4. Quelles leçons tirer de ces crises sanitaires ?	383
4.1. Réaliser des inspections et contrôles réguliers dans les filières	383
4.2. Disposer d'un réseau de laboratoires d'analyse efficient	383
4.3. Assurer la traçabilité dans les filières	384
4.4. Coordonner les actions de gestion des risques	384
4.5. Communiquer sur les actions menées	384
<b>CHAPITRE 23</b>	
<b>Radionucléides et aliments (Jean-Claude Amiard)</b>	<b>387</b>
1. Les radionucléides	387
1.1. Présentation et catégories de radionucléides	387
1.2. Sources des radionucléides dans l'environnement	388
1.3. Spécificité de l'estimation du risque radioactif	388
2. La toxicité des radionucléides	389
2.1. La radiotoxicité	390
2.2. Les cancers radio-induits	391
2.3. Les maladies non cancéreuses liées aux rayonnements ionisants	391
3. La contamination des aliments par des radionucléides	392
3.1. Contamination naturelle et artificielle des aliments	392
3.2. Transferts de l'environnement à la chaîne alimentaire	393
3.3. Transferts des radionucléides de la diète à l'Homme	394
4. L'exposition de l'Homme aux radionucléides	395
4.1. Voies d'exposition aux radionucléides	395
4.2. Imprégnation de l'Homme par les radionucléides	398
5. Le risque radiologique	401
5.1. Estimation de la dose d'irradiation	401
5.2. Doses d'irradiation	402
5.3. De la dose à l'effet néfaste	403
6. Les moyens de maîtrise du risque radiologique	404
6.1. Les limites réglementaires dans les denrées alimentaires	404
6.2. La surveillance des radionucléides dans les aliments	407
7. Conclusion	407

## Perspectives et développements futurs

Introduction à la partie 4 (Bruno Le Bizec) .....	413
---	-----

### CHAPITRE 24

<b>Effets des faibles doses et relations « dose-effet » non monotones (Francelyne Marano) .....</b>	<b>415</b>
---	------------

1. Les faibles doses en toxicologie .....	416
1.1. Que veut-on dire par faible dose ? .....	416
1.2. Quels sont les mécanismes qui expliquent les effets des faibles doses ? .....	417
1.3. Des périodes critiques d'exposition .....	418
1.4. L'intérêt du concept d'exposome .....	419
2. Les relations dose-effet non monotones .....	420
2.1. Quand les observe-t-on ? .....	420
2.2. Comment étudier les relations dose-réponse non monotones ? .....	422
2.3. Le concept d'hormésis et les réponses non monotones .....	423
3. Conclusion .....	424

### CHAPITRE 25

<b>Apport et avenir des techniques « omics » dans le domaine de l'évaluation du risque lié aux aliments (Jean-Philippe Antignac, Yann Guitton, Gaud Dervilly-Pinel, Bruno Le Bizec) .....</b>	<b>427</b>
---	------------

1. Définitions et principes généraux des approches « omics » .....	428
1.1. Contexte et définitions .....	428
1.2. De la génération au prétraitement des données « omics » .....	429
1.3. De l'analyse statistique à l'interprétation des données « omics » .....	430
2. Intérêt et apport des approches « omics » pour l'évaluation du risque chimique .....	431
2.1. Le positionnement général .....	431
2.2. La recherche de biomarqueurs d'exposition .....	432
2.3. La caractérisation de relations dose-effet .....	432
2.4. La caractérisation d'effets de mélange .....	434
2.5. L'étude de modes d'action .....	434
2.6. Vers une toxicologie plus intégrative au service de l'évaluation du risque .....	435
3. État des lieux concernant l'application des approches « omics » dans un contexte d'évaluation du risque chimique .....	436
3.1. Contaminants inorganiques .....	437
3.2. Contaminants organiques liés aux procédés et/ou filières .....	438
3.3. Contaminants organiques environnementaux .....	438
3.4. Toxines .....	439
4. Quel avenir pour les approches « omics » en évaluation du risque ? .....	440
4.1. Quels avantages ? .....	440
4.2. Quelles limites ? .....	441
4.3. Les approches « omics » au service (aussi) de la gestion du risque .....	442

### CHAPITRE 26

<b>Prise en compte du rapport bénéfice/risque dans les politiques publiques de l'alimentation (Jean-Luc Volatier) .....</b>	<b>451</b>
---	------------

1. Le rapport bénéfice/risque : origine et définitions .....	451
2. Les applications du rapport bénéfice/risque dans le domaine alimentaire .....	452
3. Les méthodes utilisées pour les approches bénéfice/risque en alimentation .....	454
3.1. Approches bénéfice/risque en l'absence de données cliniques et épidémiologiques .....	454
3.2. Approches bénéfice/risque en présence de données d'études cliniques ou épidémiologiques .....	456

3.3. Évolution récente des travaux internationaux en évaluation bénéfique/risque alimentaire, approches par étapes .....	458
4. Conclusion et perspectives .....	459
<b>CHAPITRE 27</b>	
<b>Évaluation des mélanges de contaminants chimiques dans les aliments (Paule Vasseur).....</b>	<b>461</b>
1. Concepts théoriques et approche pragmatique.....	464
2. Méthodologies d'évaluation des risques des mélanges chimiques.....	465
2.1. Évaluation des expositions.....	465
2.2. Évaluation des dangers et caractérisation des risques .....	466
3. Sources d'incertitude .....	476
4. Intérêt et limites des modèles expérimentaux et des données épidémiologiques.....	477
5. Perspectives .....	478
<b>CHAPITRE 28</b>	
<b>Biosurveillance (Clémence Fillol, Agnès Lefranc).....</b>	<b>485</b>
1. La voie alimentaire est une voie parmi d'autres d'exposition de l'Homme aux agents chimiques .....	485
2. La mesure de biomarqueurs d'exposition pour l'évaluation intégrée des expositions : intérêts et limites.....	486
3. Les objectifs de la mesure de biomarqueurs d'exposition .....	488
3.1. Description des niveaux d'exposition, établissement de valeurs de référence, surveillance des tendances spatiales et temporelles .....	489
3.2. Identification des déterminants des niveaux d'exposition .....	490
3.3. Étude des liens entre expositions et santé .....	492
4. Comment caractériser le risque associé à un niveau de biomarqueur d'exposition ?.....	492
4.1. L'utilisation des données des études épidémiologiques étiologiques.....	493
4.2. Le développement de méthodes fondées sur la modélisation .....	493
5. Conclusion et perspectives .....	494
<b>CHAPITRE 29</b>	
<b>Éléments traces métalliques dans les aliments : importance de la spéciation (Fabienne Séby, Véronique Vacchina, Martine Potin-Gautier).....</b>	<b>497</b>
1. Présentation des éléments traces métalliques .....	497
1.1. Origine et niveaux de contamination dans les aliments .....	497
1.2. Problématique des ETM dans les aliments .....	498
2. Méthodes analytiques pour la caractérisation des ETM et de leurs formes chimiques .....	503
2.1. Procédures d'échantillonnage et de prétraitement de l'échantillon.....	504
2.2. Analyse des teneurs totales en élément .....	505
2.3. Analyses de spéciation .....	507
2.4. Quantification et validation des méthodes .....	511
3. Études de cas .....	513
3.1. Arsenic et ses espèces dans les produits alimentaires à base de riz .....	513
3.2. Chrome hexavalent (Cr(VI)) dans l'alimentation .....	515
4. Conclusions et tendances actuelles sur les ETM.....	516
<b>Conclusion .....</b>	<b>521</b>
<b>Index.....</b>	<b>525</b>