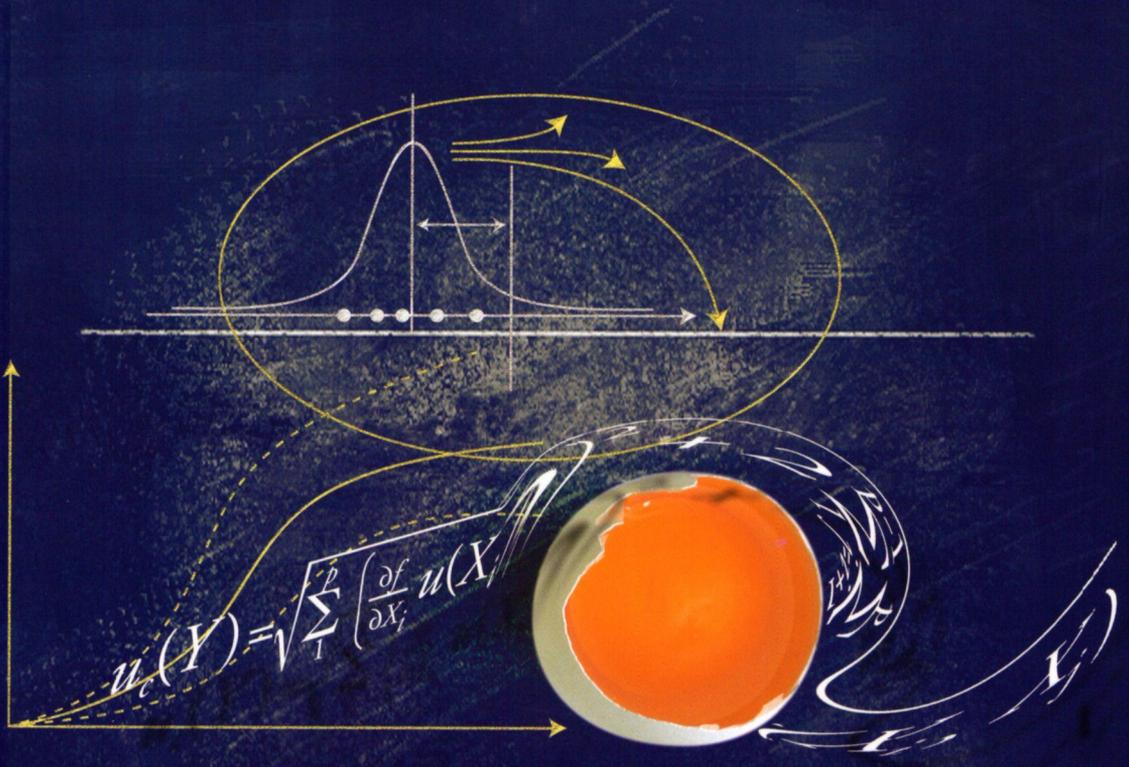




COLLECTION  
SCIENCES & TECHNIQUES  
AGROALIMENTAIRES

**Max Feinberg • Patrice Bertail • Jessica Tressou • Philippe Verger**  
*coordonnateurs*



# Analyse des risques alimentaires

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

*Lavoisier*

COLLECTION  
SCIENCES & TECHNIQUES  
AGROALIMENTAIRES



Président du Directoire : J.-L. MULTON

# Analyse des risques alimentaires

**coordonnateurs**

Max Feinberg, Patrice Bertail,  
Jessica Tressou et Philippe Verger



11, rue Lavoisier  
F 75008 Paris

LONDRES - PARIS - NEW YORK

## Chez le même éditeur

*Droit international et communautaire de la sécurité des aliments*

M. Lewandowski-Arbitre, 2006

*Risques et crises alimentaires*

collection « Sciences et techniques agroalimentaires »

C. Lahellec, coord., 2005

*Escherichia coli O157:H7*

collection « Monographies de microbiologie »

C. Vernozy-Rozand, M.-P. Montet, 2<sup>e</sup> édition, 2005

*Listeria*

collection « Monographies de microbiologie »

J.-P. Larpent, 3<sup>e</sup> édition, 2004

*Dangers biologiques et consommation des viandes*

J. Fosse, C. Magras, 2004

*OGM et santé –*

*Rapport bi-académique Académie nationale de médecine / Académie nationale de pharmacie*

A. Rérat, coord., 2003

*Sécurité alimentaire du consommateur*

collection « Sciences et techniques agroalimentaires »

M. Moll, N. Moll, coord., 2<sup>e</sup> édition, 2002

*INCA : enquête individuelle et nationale sur les consommations alimentaires*

J.-L. Volatier, coord., Agence française de sécurité sanitaire des aliments, 2000

*Apports nutritionnels conseillés pour la population française*

A. Martin, coord., Agence française de sécurité sanitaire des aliments, 3<sup>e</sup> édition, 2000

*Précis des risques alimentaires*

M. Moll, N. Moll, 2000



© LAVOISIER, 2006

ISBN 13 : 978-2-7430-0894-9

ISBN 10 : 2-7430-0894-6

ISSN : 0243-5624

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

# Liste des auteurs

**Patrice Bertail**

professeur (mathématiques) à  
l'université Paris X  
statisticien, Groupe des écoles  
nationales d'économie et statistique  
CREST  
Laboratoire de statistique  
3, avenue Pierre Larousse  
Timbre J340  
92245 Malakoff cedex

**Sandrine Blanchemanche**

docteur en sociologie  
Institut national de la recherche  
agronomique (Inra)  
Unité Met@risk  
16, rue Claude Bernard  
75231 Paris cedex 05

**Antoine Boisson**

statisticien  
Institut national de la statistique  
et des études économiques  
3, avenue Pierre Larousse  
Timbre J340  
92245 Malakoff cedex

**Nathalie Bonvallet**

toxicologue  
Agence française de sécurité sanitaire  
de l'environnement et du travail  
(AFSSET)  
253, avenue du Général Leclerc  
94701 Maisons-Alfort cedex

**Patrice Buche**

docteur en informatique  
Institut national de la recherche  
agronomique (Inra)  
Unité Met@risk  
16, rue Claude Bernard  
75231 Paris cedex 05

**France Caillavet**

docteur ès sciences économiques  
Institut national de la recherche  
agronomique (Inra)  
Laboratoire de recherche  
sur la consommation CORELA  
65, boulevard de Brandebourg  
94205 Ivry-sur-Seine

**Pierre Combris**

économiste  
Institut national de la recherche  
agronomique (Inra)  
Laboratoire de recherche  
sur la consommation CORELA  
65, boulevard de Brandebourg  
94205 Ivry-sur-Seine

**Amélie Crépet**

statisticienne  
Institut national de la recherche  
agronomique (Inra)  
Unité Met@risk  
16, rue Claude Bernard  
75231 Paris cedex 05

**Frédéric Dor**

toxicologue  
Institut de veille sanitaire (InVS)  
12, rue du Val d'Osne  
94415 Saint-Maurice cedex

**Cédric Duboudin**

statisticien  
Agence française de sécurité sanitaire  
de l'environnement et du travail  
(AFSSET)  
253, avenue Général Leclerc  
94701 Maisons-Alfort cedex

**Max Feinberg**

ingénieur agronome  
docteur en chimie  
Institut national de la recherche  
agronomique (Inra)  
Unité Met@risk  
16, rue Claude Bernard  
75231 Paris cedex 05

**Estelle Gozlan**

docteur ès sciences économiques  
Institut national de la recherche  
agronomique (Inra)  
UMR-INRA-INAPG Économie publique  
16, rue Claude Bernard  
75231 Paris cedex 05

**Jayne Ireland**

responsable banque de données  
Agence française de sécurité sanitaire  
des aliments (AFSSA/DERNS/PASER/  
CIQUAL)  
27-31, avenue du Général Leclerc  
94700 Maisons-Alfort

**Sandrine Lebon**

statisticienne  
Institut national de la statistique  
et des études économiques  
3, avenue Pierre Larousse  
Timbre J340  
92245 Malakoff cedex

**Stéphan Marette**

docteur HDR ès sciences économiques  
Institut national de la recherche  
agronomique (Inra)  
UMR-INRA-INAPG Économie publique  
16, rue Claude Bernard  
75231 Paris cedex 05

**Véronique Nichèle**

docteur ès sciences économiques  
Institut national de la recherche  
agronomique (Inra)  
Laboratoire de recherche  
sur la consommation CORELA  
65, boulevard de Brandebourg  
94205 Ivry-sur-Seine

**Lydie Soler**

informaticienne  
Institut national de la recherche  
agronomique (Inra)  
Unité Met@risk  
16, rue Claude Bernard  
75231 Paris cedex 05

**Jessica Tressou**

docteur en mathématiques appliquées  
Hong Kong University of Science  
and Technology  
Clear Water Bay, Kowloon  
Hong Kong

**Philippe Verger**

médecin nutritionniste  
Institut national de la recherche  
agronomique (Inra)  
Unité Met@risk  
16, rue Claude Bernard  
75231 Paris cedex 05

# *Abréviations et liens*

AFNOR	Association française de normalisation <a href="http://www.afnor.fr">http://www.afnor.fr</a>
ATSDR	<i>Agency for Toxic Substances and Disease Registry</i> <a href="http://www.atsdr.cdc.gov/">http://www.atsdr.cdc.gov/</a>
CCFAC	<i>Codex Committee on Food Additives and Contaminants</i>
CCFICS	<i>Codex Committee on Import/Export Inspection and Certification Systems</i>
CCMAS	<i>Codex Committee on Methods of Analysis and Sampling</i>
CCVDF	<i>Codex Committee on Residues of Veterinary Drugs in Foods</i>
CEN	Commission européenne de normalisation <a href="http://www.cenorm.be/cenorm/index.htm">http://www.cenorm.be/cenorm/index.htm</a>
CIAA	Confédération des industries agroalimentaires <a href="http://www.ciaa.be">http://www.ciaa.be</a>
CNA	Conseil national de l'alimentation
CREDOC	Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie <a href="http://www.credoc.fr/">http://www.credoc.fr/</a>
DGAL	Direction générale de l'alimentation <a href="http://www.vie-publique.fr/documents-vp/dgal.shtml">http://www.vie-publique.fr/documents-vp/dgal.shtml</a>
DGCCRF	Direction générale de la consommation, de la concurrence et de la répression des fraudes <a href="http://www.finances.gouv.fr/DGCCRF/">http://www.finances.gouv.fr/DGCCRF/</a>
EFSA	<i>European Food Safety Authority</i> <a href="http://www.efsa.eu.int/">http://www.efsa.eu.int/</a>
EHC	<i>Environmental Health Criteria</i> <a href="http://www.inchem.org/pages/ehc.html/">http://www.inchem.org/pages/ehc.html/</a>

---

EUROSTAT	Office statistique des Communautés européennes <a href="http://eurostat.cec.eu.int">http://eurostat.cec.eu.int</a>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i> <a href="http://www.fao.org/">http://www.fao.org/</a>
HSDB	<i>Hazardous Substances DataBank</i> <a href="http://toxnet.nlm.nih.gov/">http://toxnet.nlm.nih.gov/</a>
INSEE	Institut national des statistiques et des études économiques <a href="http://www.insee.fr">http://www.insee.fr</a>
ISO	<i>International Standardization Organization</i> <a href="http://www.iso.org">http://www.iso.org</a>
JECFA	<i>Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives</i>
JMPR	<i>Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residue</i>
OMC	Organisation mondiale du commerce <a href="http://www.wto.org/">http://www.wto.org/</a>
OMS	Organisation mondiale de la santé <a href="http://www.who.int/fr/index.html">http://www.who.int/fr/index.html</a>
SCF	<i>Scientific Committee for Food</i>
SPS	<i>Sanitary and Phytosanitary Committee</i>
EuroFIR	<i>European Food Information Resource</i> <a href="http://www.eurofir.net">http://www.eurofir.net</a>
US EPA	<i>US Environmental Protection Agency</i> <a href="http://www.epa.gov/">http://www.epa.gov/</a>
US FDA	<i>US Food &amp; Drug Administration</i> <a href="http://www.fda.gov/">http://www.fda.gov/</a>
USDA	<i>US Department of Agriculture</i> <a href="http://www.usda.gov">http://www.usda.gov</a>
WHO	<i>World Health Organization</i> <a href="http://www.who.int/fr/index.html">http://www.who.int/fr/index.html</a>
WTO	<i>World Trade Organization</i> <a href="http://www.wto.org/">http://www.wto.org/</a>

# Table des matières

<b>Introduction</b> .....	1
---------------------------	---

## *Première partie*

### **Données**

#### *Chapitre 1*

<b>Recueil des consommations alimentaires</b> ( <i>France Caillavet, Pierre Combris et Véronique Nichèle</i> ) .....	15
1. Introduction .....	15
2. Bilans alimentaires .....	16
3. Grandes enquêtes françaises de consommation .....	18
3.1. Enquêtes INSEE sur les approvisionnements alimentaires .....	18
3.2. Enquête INSEE « Consommation alimentaire » .....	18
3.2.1. Champ de l'enquête .....	18
3.2.2. Collecte des informations .....	19
3.2.3. Une base de données retraçant l'évolution de la consommation .....	20
3.3. Enquête INSEE « Budget des familles » .....	20
3.3.1. Caractéristiques de l'enquête .....	21
3.3.2. Recueil des quantités achetées .....	21
4. Panels d'achats – Exemple du panel Secodip .....	22
4.1. Échantillon .....	23
4.2. Champ couvert .....	23
4.3. Collecte des données .....	24
5. Enquêtes individuelles de consommation – Exemple de l'enquête INCA .....	25
5.1. Enquête INCA .....	25
5.2. Représentativité de la population .....	25
5.3. Champ couvert et recueil des informations .....	26

6. Appréhender la consommation de sous-populations – Exemple des populations défavorisées. . . . .	27
6.1. Prise en compte de la population défavorisée dans les enquêtes générales de consommation alimentaire . . . . .	27
6.1.1. Information sur les critères de pauvreté . . . . .	28
6.1.2. Mauvaise représentativité de la population pauvre. . . . .	28
6.1.3. Accès difficile aux populations défavorisées . . . . .	29
6.1.4. Appréhension de la consommation alimentaire . . . . .	29
6.2. Enquêtes spécifiques sur l'alimentation des populations défavorisées . . . . .	30
6.2.1. Manque de représentativité des échantillons . . . . .	30
6.2.2. Recueil limité d'informations sur la consommation alimentaire . . . . .	30
7. Complémentarité des sources . . . . .	31
7.1. Essai de mise en correspondance de l'enquête Consommation alimentaire de l'INSEE et du panel Secodip . . . . .	31
7.2. Méthode. . . . .	32
7.2.1. Classification des produits alimentaires étudiés. . . . .	32
7.2.2. Calcul des consommations moyennes . . . . .	35
7.2.3. Harmonisation des achats de produits frais des panels Secodip (1996-2001). . . . .	36
7.3. Résultats : les séries d'achats de produits alimentaires. . . . .	36
8. Conclusions. . . . .	43

## *Chapitre 2*

<b>Composition des aliments (Max Feinberg) . . . . .</b>	<b>45</b>
1. Diversité des constituants présents dans les aliments . . . . .	45
1.1. Essai de classification des analytes . . . . .	45
1.2. Variabilité des teneurs . . . . .	49
1.2.1. Non normalité . . . . .	50
1.2.2. Censure des données. . . . .	50
1.2.3. Rôle de la limite de détection ou de quantification . . . . .	50
1.2.4. Gamme dynamique et gamme d'étalonnage . . . . .	51
2. Diversité des méthodes d'analyse . . . . .	52
2.1. Principales techniques d'analyse. . . . .	52
2.1.1. Effets de matrice . . . . .	52
2.1.2. Instabilité des échantillons ou des analytes . . . . .	52
2.1.3. Coût des analyses . . . . .	52
2.2. Niveaux de qualité des résultats . . . . .	56
2.2.1. Critères métrologiques . . . . .	56
2.2.2. Critères socio-économiques . . . . .	56
2.3. Normalisation des méthodes . . . . .	57
3. Cycle de vie des méthodes . . . . .	60
3.1. Intérêt du cycle de vie . . . . .	60
3.2. Critères de performance . . . . .	61
3.3. Limites de détection et de quantification . . . . .	61
4. Compétence des laboratoires et accréditation . . . . .	67
4.1. Principes de la qualité des laboratoires . . . . .	67
4.1.1. Le personnel . . . . .	67

4.1.2. Installations et conditions ambiantes	67
4.1.3. Méthode d'essai et d'étalonnage, y compris l'échantillonnage	68
4.1.4. Équipement	68
4.1.5. Traçabilité du mesurage	68
4.1.6. Échantillonnage	68
4.1.7. Manutention et transport des objets d'essai et d'étalonnage	68
4.2. Accréditation des laboratoires	69
5. Validation des méthodes	70
6. Analyses interlaboratoires	73
6.1. Types d'analyses interlaboratoires	73
6.2. Répétabilité et reproductibilité selon la norme ISO 5725 (1996)	74
6.3. Exemple de calcul	76
6.4. Variations de la reproductibilité en fonction de la concentration	79
7. Incertitude des mesures en chimie	82
7.1. Bases métrologiques	82
7.2. Méthodes de calcul de l'incertitude	84
7.3. Utilisations pratiques de l'incertitude	85
8. Traçabilité des mesures et matériaux de référence	87
8.1. Matériaux de référence certifiés (MRC)	87
8.2. Essais d'aptitude	89
8.3. Tests d'homogénéité pour un matériau de référence	92
9. Limites maximales de résidus (LMR)	94
9.1. Rôle des LMR	94
9.1.1. LMR	94
9.1.1. LMR européennes	94
9.1.2. LMR établies par le Codex alimentarius	94
9.1.3. LMR nationales	95
9.2. Nouvelles limites maximales en pesticides pour les produits d'alimentation humaine ou animale	96
9.2.1. Aliments concernés	96
9.2.2. Limite par défaut et limites spécifiques	96
9.2.3. Exceptions aux limites	97
9.2.4. Fixation, modification et suppression des LMR	97
9.2.5. Contrôle des LMR	97
9.3. Interprétation des LMR	98

### Chapitre 3

<b>Nomenclatures et codifications des aliments (Jayne Ireland)</b>	101
1. Nomenclature et qualité des données	101
1.1. Identification d'un aliment par son nom	102
1.2. Stockage de l'aliment dans une base de données	103
1.3. Identification des aliments dans les bases de données nationales	104
2. Systèmes internationaux de classification des aliments	106
2.1. Normes alimentaires du Codex alimentarius	106
2.2. Classification CCPR pour l'alimentation humaine et animale	107
2.3. Classification GSC pour les contaminants et les toxines dans les aliments	108
2.4. Classifications CFCS et CIAA	108

2.5. Classification Eurocode . . . . .	110
2.6. Classification EFG . . . . .	111
2.7. Comparaison des systèmes de classification des aliments . . . . .	112
3. Systèmes de description des aliments . . . . .	113
3.1. INFOODS . . . . .	113
3.2. LanguaL . . . . .	116
3.3. Vers un système intégré . . . . .	119
4. Intercomparaison des données au niveau européen . . . . .	120
4.1. Action COST 99 . . . . .	120
4.2. ENDB (Epic Nutrient Data Base) . . . . .	121
4.3. EuroFIR . . . . .	122

## *Deuxième partie*

### **Méthodes normalisées de calcul**

#### *Chapitre 4*

<b>Méthodes classiques d'évaluation du risque (Philippe Verger) . . . . .</b>	<b>125</b>
1. Identification et caractérisation du danger . . . . .	127
1.1. Toxicité aiguë . . . . .	127
1.2. Toxicité subchronique . . . . .	128
1.3. Toxicité sur la fonction de reproduction . . . . .	128
1.4. Toxicité pour le système nerveux . . . . .	128
1.5. Génotoxicité . . . . .	129
1.6. Carcinogénicité . . . . .	129
1.7. Toxicité pour le système immunitaire . . . . .	130
1.8. Allergie alimentaire . . . . .	130
1.9. Tests <i>in vitro</i> . . . . .	130
2. Évaluation de l'exposition . . . . .	131
2.1. Première étape : méthodes dites de <i>screening</i> . . . . .	133
2.2. Deuxième étape : évaluation de l'exposition maximale . . . . .	135
2.3. Troisième étape : évaluation de l'exposition moyenne . . . . .	136
3. Caractérisation du risque . . . . .	137

#### *Chapitre 5*

### **Élaboration des valeurs toxicologiques de référence et relations dose-réponse**

<i>(Nathalie Bonvallot, Frédéric Dor et Cédric Duboudin) . . . . .</i>	<b>141</b>
1. Définitions et historique . . . . .	142
2. Schéma général de construction des VTR . . . . .	149
2.1. Identification des dangers . . . . .	149
2.2. Choix de l'effet critique et la sélection d'une étude . . . . .	151
2.3. Choix du scénario d'extrapolation . . . . .	152
3. Effets toxiques à seuil . . . . .	153
3.1. Détermination de la dose critique . . . . .	154
3.2. Application de facteurs de sécurité . . . . .	155

3.3. Limites . . . . .	157
4. Effets toxiques sans seuil . . . . .	161
4.1. Détermination d'une dose équivalente pour l'homme (extrapolation inter-espèces) . . . . .	161
4.2. Extrapolation dans le domaine des faibles doses . . . . .	162
4.2.1. Modèles d'extrapolation . . . . .	163
4.2.2. Extrapolation graphique . . . . .	165
4.3. Limites . . . . .	165
4.4. Absence de consensus pour l'extrapolation . . . . .	167
5. Évolutions méthodologiques récentes . . . . .	167
5.1. Estimation de la dose critique : Benchmark dose . . . . .	167
5.2. « Margin of exposure » : MOE . . . . .	169
5.3. Modèles « <i>Physiologically-based pharmacokinetic</i> » (PBPK) . . . . .	169
5.4. Facteurs d'incertitude . . . . .	171
5.5. Relation structure-activité . . . . .	172
6. Méthodes en développement . . . . .	173
6.1. Régression catégorielle . . . . .	173
6.2. Approche probabiliste . . . . .	174
7. Conclusion . . . . .	175

### Troisième partie

## Évaluations statistiques des risques d'exposition

### Chapitre 6

<b>Introduction à l'approche probabiliste (Patrice Bertail et Jessica Tressou) . . . .</b>	<b>179</b>
1. Motivations . . . . .	179
2. Données . . . . .	182
2.1. Consommation alimentaire . . . . .	182
2.2. Contamination des aliments . . . . .	182
2.3. Appariement des données de consommation et de contamination . . . . .	183
3. Notations et formalisme statistiques . . . . .	183
4. Évaluation de l'exposition . . . . .	184
4.1. Approche « déterministe » . . . . .	184
4.2. Approches probabilistes : construction de la distribution d'exposition . . . . .	185
4.3. Grandeurs d'intérêt . . . . .	188
5. Quelques exemples . . . . .	188
5.1. Métaux lourds dans les produits de la mer . . . . .	189
5.1.1. Description des données . . . . .	189
5.1.2. Exemples de distributions obtenues . . . . .	190
5.2. Ochratoxine A (OTA) dans l'alimentation totale . . . . .	191
5.2.1. Description des données . . . . .	191
5.2.2. Exemples de distributions obtenues . . . . .	193
5.3. L'acrylamide (ACR) dans l'alimentation totale . . . . .	193
5.3.1. Description des données . . . . .	193
5.3.2. Exemple de distributions obtenues . . . . .	194

### Chapitre 7

## Évaluation empirique des risques : une approche de type Monte-Carlo

<i>(Patrice Bertail et Jessica Tressou)</i> .....	197
1. Introduction .....	197
2. Quelques principes de bases .....	199
2.1. Bootstrap .....	199
2.2. Méthode plug-in et bootstrap .....	201
2.3. Bootstrap et calcul de Monte-Carlo .....	203
2.4. Succès et échec du bootstrap .....	204
2.5. Intervalles de confiance bootstrap .....	205
2.5.1. La méthode « basic percentile » .....	206
2.5.2. La méthode t-percentile .....	207
2.5.3. Choix du nombre de rééchantillonnages .....	207
3. Estimation de la probabilité de dépasser un seuil $d$ .....	208
3.2. Notations et estimateur plug-in .....	208
3.2. Approximation par une U-statistique incomplète .....	209
3.3. Comportement asymptotique de l'estimateur plug-in .....	210
3.4. Approximation de la variance : jackknife ou bootstrap .....	211
3.4.1. Estimation de la variance globale par bootstrap .....	211
3.4.2. Estimation de $\mathbb{V}(\psi_c(C_1, \dots, C_p))$ et des $\mathbb{V}(\psi_{Q_j}(Q_j))$ par jackknife .....	211
4. Intervalles de confiance .....	213
4.1. Construction des intervalles .....	213
4.2. Algorithme de calcul .....	213
4.2.1. Étape d'estimation .....	213
4.2.2. Étape de rééchantillonnage .....	214
4.2.3. Calcul des intervalles de confiance (IC) .....	214
4.3. Validation .....	215
5. Illustration : risque d'exposition à l'OTA .....	215
6. Annexe A : Quelques résultats sur les U-statistiques .....	216
7. Annexe B : Les justifications asymptotiques du bootstrap .....	222
7.1. Développement d'Edgeworth .....	223
7.2. Propriétés asymptotique du Bootstrap de la moyenne .....	225
7.3. Bootstrap du processus empirique .....	227
7.4. Bootstrap du processus fractile .....	228
7.5. Bootstrap de U-V statistiques .....	228
7.6. Bootstrap des fonctionnelles différentiables .....	229

### Chapitre 8

<b>Problèmes de censure des données et traitement</b> ( <i>Jessica Tressou</i> ) .....	231
1. Estimation paramétrique de la censure .....	232
2. Estimation non paramétrique pour des données censurées .....	233
2.1. Estimateur de Kaplan-Meier pour des données censurées à gauche .....	233
2.2. Estimation de la probabilité de dépasser un seuil $d$ .....	235
2.3. Mise en œuvre pratique .....	235
2.3.1. Étape d'estimation .....	236

2.3.2. Premier niveau de rééchantillonnage . . . . .	236
2.3.3. Second niveau de rééchantillonnage . . . . .	237
3. Illustration : risque d'exposition à l'OTA . . . . .	238
4. Annexe C : Justifications théoriques de la méthode non paramétrique . . . . .	242
4.1. Comportement asymptotique de l'estimateur de Kaplan-Meier pour des données censurées à gauche . . . . .	243
4.2. Comportement asymptotique de $\tilde{\theta}(d)$ . . . . .	245

### Chapitre 9

#### Évaluation des petits risques – Théorie des valeurs extrêmes

(Patrice Bertail et Jessica Tressou) . . . . .	249
1. Valeurs extrêmes et estimation de l'index de Pareto . . . . .	250
1.1. Valeurs extrêmes . . . . .	250
1.2. Loi de Pareto et Pareto généralisée . . . . .	253
1.3. Estimateur de Hill . . . . .	256
1.4. Estimation indirecte : méthode POT . . . . .	260
2. Modélisation et caractérisation des populations à risque . . . . .	261
2.1. Caractérisation des populations à risques à partir de la loi des excès . . . . .	262
2.2. Facteurs déterminant l'appartenance à la zone à risque . . . . .	264
2.3. Application : caractérisation des populations exposées au mercure . . . . .	264

### Chapitre 10

#### Les méthodes de correction de biais des estimateurs de type Hill

(Patrice Bertail, Antoine Boisson, Sandrine Lebon et Jessica Tressou) . . . . .	269
1. Estimateurs classiques, mise en évidence du biais . . . . .	270
1.1. Estimateurs classiques : définitions et propriétés . . . . .	270
1.2. Fonctions à variation lente et biais . . . . .	272
1.3. Quelques simulations . . . . .	273
2. Méthode de correction du biais . . . . .	276
2.1. Description du modèle . . . . .	276
2.2. Estimation des paramètres . . . . .	277
3. Mise en œuvre sur données simulées . . . . .	278
4. Illustration : risques d'exposition au mercure et à l'acrylamide . . . . .	280
5. Annexe D – Éléments de justification de l'approximation par régression exponentielle pour une fonction à VL en puissance . . . . .	282

### Chapitre 11

#### Combinaison de sources de données par vraisemblance empirique

(Patrice Bertail et Amélie Crépet) . . . . .	285
1. Introduction . . . . .	285
2. Méthodes de calage sur marges et de vraisemblance empirique . . . . .	286
2.1. Principe du calage sur marges . . . . .	286
2.2. Vraisemblance empirique pour la moyenne . . . . .	288

3. Extension au problème de combinaison de différentes sources de données . . . . .	290
3.1. Méthode 1 – Produit des rapports de vraisemblance de chaque échantillon. . . . .	290
3.2. Méthode 2 – Rapport de vraisemblance empirique unique. . . . .	292
4. Généralisation à des indicateurs de risque . . . . .	293
5. Application aux données de consommation de produits de la mer. . . . .	296
5.1. Données. . . . .	296
5.2. Choix des variables sociodémographiques et rapprochement des nomenclatures . . . . .	297
5.3. Application 1 – Combinaison de sources pour l'estimation de la moyenne de la consommation. . . . .	299
5.4. Application 2 – Risque d'exposition au mercure . . . . .	302
6. Conclusion. . . . .	303

## Chapitre 12

<b>Application informatique : le logiciel CARAT (Patrice Buche, Lydie Soler et Jessica Tressou) . . . . .</b>	<b>305</b>
1. Introduction. . . . .	305
2. Préparation des données . . . . .	306
2.1. Présentation des données de consommation et de contamination. . . . .	306
2.1.1. Données de consommation . . . . .	306
2.1.2. Données de contamination . . . . .	307
2.2. Définition des données dans CARAT . . . . .	309
2.2.1. Groupes de produits . . . . .	309
2.2.2. Groupes d'individus . . . . .	310
2.3. Création d'une étude . . . . .	312
2.3.1. Choix du contaminant. . . . .	312
2.3.2. Choix des groupes d'individus . . . . .	313
2.3.3. Choix des groupes de produits . . . . .	313
2.4. Facteurs de conversion des données . . . . .	313
2.4.1. Application d'un facteur de « process » sur les données de consommation . . . . .	313
2.4.2. Conversion des mesures de contamination. . . . .	314
2.5. Transfert des données . . . . .	314
2.6. Récapitulatif et choix des types de calculs statistiques . . . . .	315
3. Calcul déterministe . . . . .	317
3.1. Traitement des données censurées. . . . .	317
3.2. Agrégation des données de contamination . . . . .	318
3.3. Calcul de l'exposition . . . . .	318
4. Calcul non paramétrique. . . . .	320
4.2. Traitement des données de consommation . . . . .	320
4.2. Traitement des données de contamination . . . . .	320
4.2.1. Traitement « classique » de la censure . . . . .	320
4.2.2. Traitement de la censure avec Kaplan Meier . . . . .	321
4.3. Calcul de l'exposition . . . . .	322
5. Construction d'intervalles de confiance (IC) par bootstrap . . . . .	323
Mode d'application du bootstrap. . . . .	325
6. Résultats et sorties disponibles dans CARAT . . . . .	326

6.1. Types de sortie . . . . .	326
6.2. Calcul déterministe . . . . .	327
6.3. Calcul non paramétrique . . . . .	330
7. Conclusion et perspectives . . . . .	333

## *Quatrième partie*

### **Utilisation des résultats pour la gestion du risque**

#### *Chapitre 13*

#### **Commission du *Codex alimentarius* et gestion des risques**

<i>(Sandrine Blanchemanche)</i> . . . . .	339
1. Introduction . . . . .	339
2. Gestion des risques au niveau international : la Commission du <i>Codex alimentarius</i> . . . . .	339
2.1. Objectifs . . . . .	339
2.2. Composition et structure . . . . .	340
2.3. Procédure d'adoption des normes . . . . .	342
2.4. Le tournant de 1995 : normes du <i>Codex alimentarius</i> et échanges commerciaux . . . . .	343
2.4.1. Extrait de l'accord SPS – Article 5 . . . . .	344
3. Analyse de risque : un cadre de travail . . . . .	346
3.1. Analyse des risques : l'adoption progressive d'un cadre de travail au <i>Codex alimentarius</i> . . . . .	346
3.1.1. Principes de travail pour l'analyse des risques destinés au Codex . . . . .	346
3.1.2. Principes de travail pour l'analyse des risques destinés aux gouvernements . . . . .	347
3.2. Autres facteurs légitimes : le dossier épineux de la gestion des risques . . . . .	348
4. Introduction de l'évaluation socio-économique dans l'analyse de risque . . . . .	351
4.1. À quelle étape du processus de l'analyse de risque ? . . . . .	352
4.2. Quelles méthodes ? . . . . .	353
5. Communication sur les risques : un processus interactif . . . . .	357
6. Conclusion . . . . .	359

#### *Chapitre 14*

#### **Aspects économiques (*Estelle Gozlan et Stéphan Marette*) . . . . .**

1. Introduction . . . . .	361
2. Principes de l'analyse coûts-bénéfices (ACB) . . . . .	362
2.1. Étapes de l'analyse coûts-bénéfices . . . . .	362
2.2. Évaluation des risques . . . . .	362
Acceptabilité sociale de l'analyse coûts-bénéfices (ACB) . . . . .	364
2.3. Évaluation monétaire des risques et des bénéfices liés à leur réduction . . . . .	364
2.4. Problème de l'actualisation des bénéfices et coûts futurs . . . . .	365
3. Effets des outils de gestion du risque sur le fonctionnement des marchés . . . . .	367
3.1. Présentation simple des mécanismes de marché . . . . .	367

---

3.2. Méthodes empiriques de quantification de la demande et du coût lié à la sécurité . . . . .	371
3.3. Liens entre marché et État pour garantir la sécurité des consommateurs . . . . .	372
4. Financement de la gestion des risques et des politiques de contrôle des agences . . . . .	373
5. Politiques de sécurité comme barrières aux échanges dans un contexte international. . . . .	376
6. Conclusion. . . . .	379
<b>Conclusions générales . . . . .</b>	<b>381</b>
<b>Références bibliographiques . . . . .</b>	<b>383</b>