



Jean-Claude Amiard

Les risques chimiques environnementaux

Méthodes d'évaluation et impacts sur les organismes



048458

Editions
TEC
& **DOC**

Lavoisier

ECL 118



048458

(2)

Les risques chimiques environnementaux

Méthodes d'évaluation et impacts sur les organismes

Jean-Claude Amiard



048458

Editions
TEC
& **DOC**

11, rue Lavoisier
75008 Paris

Sommaire

Remerciements.....	III
--------------------	-----

Abréviations et sigles.....	V
-----------------------------	---

Introduction

1. La démarche de l'estimation du risque chimique.....	4
1.1. Principe de l'évaluation des risques.....	4
1.2. L'identification des dangers.....	5
1.3. Évaluation de l'exposition.....	5
1.4. Évaluation des effets.....	6
1.5. Caractérisation du risque.....	6
2. La perception du risque et de la sécurité par la population française.....	6
3. Objectifs de l'ouvrage.....	8
Pour en savoir plus.....	9

Partie 1

L'identification des dangers

Chapitre 1

Les principaux polluants de l'environnement

Introduction.....	13
1. Polluants inorganiques.....	14
1.1. Nitrates et phosphates.....	14
1.2. Métaux.....	14
1.2.1. Mercure.....	14
1.2.2. Cadmium.....	15
1.2.3. Plomb.....	15
1.2.4. Zinc.....	16

1.2.5. Cuivre	16
1.2.6. Nickel	16
1.2.7. Vanadium	17
1.2.8. Argent	17
1.2.9. Chrome	18
1.2.10. Cobalt	18
1.2.11. Arsenic	18
1.2.12. Aluminium	18
1.2.13. Antimoine	19
1.2.14. Manganèse	19
1.2.15. Platine	19
1.3. Halogénés	20
1.3.1. Bore	20
1.3.2. Fluor	20
1.4. Agents corrosifs	21
1.5. Amiante	21
2. Polluants organométalliques	22
2.1. Étain et tributylétain (TBT)	22
2.2. Dérivés organiques du mercure	23
2.3. Plomb tétraéthyle	24
2.4. Organo-arséniés	24
2.5. Les formes organiques de l'antimoine	24
3. Polluants organiques	25
3.1. Biocides	25
3.1.1. Pesticides ou biocides à usage agricole	25
3.1.2. Biocides à usage non agricole	27
3.2. PCB	28
3.3. Dioxines et furannes	29
3.4. Hydrocarbures	30
3.4.1. Hydrocarbures aliphatiques	30
3.4.2. Hydrocarbures aromatiques	30
3.4.3. Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	31
3.4.4. Le benzo(a)pyrène (BaP) : le plus préoccupant des HAP	31
3.5. Chlorofluocarbures (CFC)	31
3.6. 1,4-dichlorobenzène	32
3.7. Phtalates	32
4. Particules microniques ou aérosols	33
5. Biotoxines	34
5.1. Mycotoxines	34
5.2. Phycotoxines	34
5.3. Cyanobactéries et leurs toxines dans les eaux	35
5.4. Toxines de poissons	35
5.5. Toxines des bactéries	35
6. Molécules présentes dans les aliments	36
6.1. Arômes et additifs des aliments	36
6.2. Matériaux de contact	36
6.3. Produits néoformés dans les aliments	37

6.4. Histamine	39
6.5. Prions	39
7. Polluants émergents	40
7.1. Retardateurs de flamme bromés (BFR)	40
7.2. Composés organiques perfluorés	41
7.3. Médicaments	41
7.4. Cosmétiques	42
7.5. Drogues ou stupéfiants	43
7.6. Peptaïbols	43
7.7. Nanoparticules	44
8. Armes chimiques	45
9. Polluants radioactifs	46
9.1. Radionucléides naturels	46
9.1.1. Radium 226	46
9.1.2. Radon	47
9.1.3. Polonium 210	48
9.2. Radionucléides artificiels	49
9.2.1. Strontium 90	49
9.2.2. Césium 137	49
9.2.3. Iode 129	49
9.2.4. Transuraniens	50
9.2.5. Autres radionucléides	50
Conclusions	50
Pour en savoir plus	51

Chapitre 2

Les classifications des polluants

1. Les différentes pollutions	55
2. Classifications chimiques	55
2.1. Classifications des polluants inorganiques	56
2.2. Classification des polluants organiques	58
2.2.1. Les HAP	58
2.2.2. Les PCB	58
2.2.3. Les PBDE	59
2.2.4. Les pesticides	59
2.2.5. Les gaz fluorés	61
2.2.6. Les biotoxines	61
2.2.7. Les mycotoxines	62
3. Classifications des substances prioritaires et dangereuses	63
3.1. Critères de sélection des polluants prioritaires	63
3.2. Substances chimiques de la liste de la Convention de Stockholm	65
3.3. Substances chimiques de la liste rouge de la Convention de Rotterdam	66
3.4. Substances prioritaires dangereuses	67
3.4.1. Substances chimiques cancérigènes	68
3.4.2. Substances mutagènes	70
3.4.3. Substances reprotoxiques	70

4. Classifications opérationnelles	71
5. Classifications fonctionnelles	73
5.1. Polluants organiques ayant une affinité pour le récepteur AhR	73
5.2. Perturbateurs endocriniens	73
6. Étiquetage des produits chimiques	75
7. Polluant ou contaminant ?	76
Pour en savoir plus	77

Chapitre 3

Les sources de pollution

Introduction	79
1. Sources naturelles	79
2. Sources industrielles, agricoles, urbaines et domestiques	80
2.1. Sources industrielles	80
2.1.1. Principales sources de pollutions des sols par l'industrie	80
2.1.2. Principales sources de pollutions atmosphériques par l'industrie ..	81
2.2. Sources agricoles	85
2.2.1. Principales sources de pollutions des sols par l'agriculture	85
2.2.2. Fertilisants	86
2.2.3. Produits phytosanitaires	86
2.2.4. Perturbation des cycles biogéochimiques par l'emploi des fertilisants	87
2.3. Sources urbaines et domestiques	87
2.3.1. Déchets urbains et ordures ménagères	87
2.3.2. Stations d'épuration	88
2.3.3. Cosmétiques	90
2.3.4. Drogues et médicaments	90
2.3.5. Autres sources	91
3. Empoisonnement secondaire ou nutritionnel	92
4. Caractéristiques des sources gouvernant le devenir des polluants	93
5. Listes des principaux polluants et leurs sources	95
5.1. Polluants inorganiques	95
5.2. Polluants organiques	101
5.3. Biotoxines	105
5.4. Radionucléides	105
5.5. Autres polluants	105
5.6. Sources de perturbateurs endocriniens	106
Pour en savoir plus	106

Partie 2

L'évaluation de l'exposition au danger

Chapitre 4

Le devenir et le comportement des polluants dans l'environnement

Introduction	111
1. Dispersion des polluants dans l'atmosphère	111
1.1. La circulation atmosphérique des polluants	112
1.2. Dispersion à l'échelle locale	115
1.3. Chimie de la phase gazeuse dans la troposphère	116
1.4. Les pluies acides	117
2. L'hydrosphère	117
2.1. Inventaire de l'eau à la surface terrestre	117
2.2. Les voies d'entrée dans l'hydrosphère	119
2.3. Les échanges à l'interface continent-océan	119
2.4. La dispersion et la circulation océaniques des polluants	120
2.5. Les principaux processus chimiques et biochimiques	120
2.6. Conclusion partielle	121
3. La lithosphère	122
3.1. Mais les sols et les sédiments sont-ils un puits ou une source ?	123
3.2. Comportement des polluants dans les sols et les sédiments	124
3.3. Les conséquences de la contamination des sols : contamination des plantes et des nappes phréatiques	126
4. La biosphère	126
5. Les échanges intercompartimentaux	127
5.1. Les divers échanges intercompartimentaux	127
5.2. Les échanges des polluants entre les milieux physiques et la biosphère	128
5.3. Influence des organismes vivants sur le cycle des polluants dans l'environnement	129
6. Les cycles biogéochimiques	133
6.1. Les principaux paramètres des cycles biogéochimiques	133
6.2. Quelques exemples de cycles biogéochimiques	136
6.2.1. Le cuivre	136
6.2.2. Le mercure	136
6.2.3. Le zinc	138
6.2.4. L'hexachlorobenzène	138
Pour en savoir plus	140

Chapitre 5

L'exposition des êtres vivants aux polluants chimiques

1. Évaluation de l'exposition	143
2. Concentrations des polluants dans l'atmosphère	144
3. Concentrations des polluants dans l'hydrosphère	146
3.1. Contamination des eaux	146

3.2. Contamination de l'océan mondial	147
3.3. Contamination chimique des eaux usées.	148
3.3.1. Les médicaments	148
3.3.2. Les drogues illicites	149
4. Concentrations des polluants dans la lithosphère	150
4.1. Contamination des sédiments	150
4.2. Pollution des sols	150
4.2.1. Pollution des sols par les éléments	152
4.2.2. Pollution des sols par les polluants organiques.	154
4.3. Conclusion	155
5. Concentration des polluants dans la biosphère : source d'empoisonnement secondaire.	155
6. Concentrations des polluants dans l'anthroposphère	157
6.1. La contamination de l'air intérieur	157
6.1.1. Le radon	158
6.1.2. La contamination des ateliers.	159
6.2. La contamination de l'atmosphère urbaine	159
6.3. La contamination de l'eau urbaine	160
6.3.1. Contamination des eaux potables	160
6.3.2. Contamination des eaux de piscine	161
6.4. La contamination due au bricolage et au jardinage.	162
6.5. La contamination des aliments.	162
6.5.1. Cadmium	163
6.5.2. Plomb	163
6.5.3. Arsenic	164
6.5.4. Mercure.	164
6.5.5. Étain	164
6.5.6. PCB	165
6.5.7. Dioxines et furannes	166
6.5.8. PBDE	167
6.5.9. HAP	168
6.5.10. Pesticides	168
6.5.11. Mycotoxines	170
6.5.12. Phycotoxines et toxines de poissons.	171
6.5.13. Histamine	171
6.5.14. Polonium 210	172
6.6. Doses d'irradiation de la population humaine	172
6.7. Biosurveillance humaine	173
6.7.1. Quelques exemples	174
6.7.2. Contamination des parlementaires européens.	175
6.7.3. Contamination des enfants français (étude INERIS)	175
6.7.4. Évaluation de l'exposition au chlordécone des populations antillaises	176
6.7.5. Évaluation de l'exposition de la population française aux dioxines	176
6.7.6. Les amalgames dentaires en mercure	176
6.7.7. Les concentrations « normales »	177

7. Les banques de données et l'évolution spatio-temporelle de la contamination de l'environnement.	177
7.1. Les banques de données.	177
7.2. Distribution spatiale de la contamination de l'environnement.	179
7.3. Évolution temporelle.	179
Pour en savoir plus	181

Chapitre 6

Les normes environnementales officielles

1. Les valeurs limites officielles de qualité de l'air ambiant	189
2. Les valeurs limites officielles dans les sols	191
3. Les valeurs limites officielles dans l'eau	193
4. Les valeurs limites officielles dans les aliments.	196
4.1. Les concentrations maximales admissibles (CMA)	196
4.2. Les limites des concentrations en biotoxines dans les aliments.	197
4.3. Les limites maximales de résidus (LMR)	199
5. Les normes de qualité environnementale (NQE)	199
6. L'évolution des réglementations.	203
Pour en savoir plus	204

Chapitre 7

Caractéristiques physico-chimiques des polluants environnementaux et biodisponibilité

1. La spéciation chimique des métaux dans la phase aqueuse.	205
2. La spéciation chimique des métaux dans les sols et les sédiments	209
2.1. Rôle des bactéries dans la spéciation des métaux dans les milieux solides.	209
2.2. Mobilité entre phase solide et liquide.	209
2.3. Méthodologies pour l'estimation de la biodisponibilité des métaux.	211
2.3.1. Méthodologies pour l'étude de la spéciation chimique.	212
2.3.2. Méthodologies permettant de distinguer les vecteurs eau et sédiment.	214
2.3.3. Méthodologies pour quantifier l'absorption digestive des substances liées aux particules sédimentaires	216
2.3.4. Méthodologie de digestion <i>in vitro</i>	218
2.4. Exemples de mobilité des polluants dans les sols	219
3. La spéciation chimique dans les organismes	221
3.1. Les formes « solubles » et « insolubles » au niveau de l'organisme <i>in toto</i>	221
3.2. La répartition tissulaire.	221
3.3. Méthodologies de quantification de la biodisponibilité dans les proies et les aliments.	222
4. Les concepts du modèle de l'ion libre et du modèle du ligand biologique	223
4.1. Le modèle de l'ion libre	224
4.2. Le modèle du ligand biotique	224
4.3. Applications des modèles	225

5. La lipophilie	227
6. Caractéristiques physico-chimiques des molécules organiques	230
Pour en savoir plus	231

Partie 3

L'imprégnation ou bioaccumulation des polluants

Chapitre 8

La bioaccumulation des polluants chez les êtres vivants

Introduction	239
1. Les voies de pénétration	239
1.1. Origine des polluants bioaccumulés	240
1.2. Les passages transmembranaires	240
2. Facteurs influençant la bioaccumulation	242
2.1. Facteurs extrinsèques	242
2.2. Facteurs intrinsèques	243
2.2.1. Relation avec l'espèce	243
2.2.2. Relation avec l'âge	243
2.2.3. Relation avec la reproduction	246
2.2.4. Relation avec le cycle d'intermue	246
2.2.5. Relation avec la régulation	246
3. Exemples de la concentration des éléments métalliques chez les invertébrés aquatiques	247
4. Quelques exemples de pénétration de quelques polluants	248
5. Modélisation de la bioaccumulation	249
6. Quantification de la bioaccumulation	250
6.1. Quantités ou concentrations ?	250
6.1.1. Relations entre masse, poids, âge et taille	250
6.1.2. Relation entre la quantité de contaminants dans les organismes et leur poids ; variations saisonnières	251
6.1.3. Évolutions théoriques de la quantité de contaminant (Q) et du poids (P) et leurs conséquences sur la concentration métallique (C)	251
6.1.4. Évolution de la quantité et de la concentration métalliques au cours du cycle vital	252
6.1.5. Comparaisons temporelles et spatiales	252
6.1.6. Comparaisons intraspécifiques et interspécifiques	253
6.1.7. Comparaisons de deux paramètres : exemple métal-métallothionéine	253
6.2. Les facteurs de concentration	254
Pour en savoir plus	258

Chapitre 9

La distribution, la métabolisation et l'élimination des polluants chez les êtres vivants

1. La distribution des polluants dans l'organisme	261
---	-----

1.1. Transport sanguin	262
1.2. Répartition cellulaire et tissulaire	262
2. Attirance d'un polluant pour un organe	263
3. Métabolisation	265
3.1. Réactions de biominéralisation	266
3.2. Réactions de biotransformation	267
3.2.1. Réactions de phase I	268
3.2.2. Réactions de phase II	268
3.2.3. Réactions de phase III	269
3.2.4. Facteurs de variation	269
4. Les voies d'élimination	270
4.1. L'élimination cellulaire	270
4.2. L'élimination rénale	271
4.3. L'élimination digestive	272
4.4. L'élimination pulmonaire ou branchiale	273
4.5. L'élimination mammaire	273
4.6. L'élimination cutanée (larmes, phanères)	274
4.7. L'élimination par les gamètes et les oeufs	274
4.8. L'élimination par les mues (exuvies)	275
4.9. Exemples d'épuration chimique des contaminants par les bivalves marins	276
4.9.1. Influence de paramètres abiotiques (voie de contamination, temps de contamination, niveau de contamination, nature des contaminants)	276
4.9.2. Influence des paramètres biotiques (espèce...)	276
4.9.3. Exemples de demi-vies	277
4.9.4. Exemples de cinétiques d'épuration chimique	278
5. Les paramètres et modèles pharmacocinétiques	280
5.1. Principaux paramètres pharmacocinétiques	280
5.2. Modèles pharmacocinétiques	282
5.2.1. Modèle monocompartimental	282
5.2.2. Modèle bicompartimental (modèle à deux compartiments)	282
5.2.3. Modèles multicompartimentaux	283
5.2.4. Analyse non compartimentale	284
Pour en savoir plus	284

Chapitre 10

Les transferts trophiques des polluants

Introduction	287
1. Les transferts trophiques des polluants	287
1.1. Les études en nature	288
1.2. Les modèles expérimentaux de chaînes alimentaires	293
1.3. La détermination des formes physico-chimiques de stockage	294
1.4. Avantages et inconvénients des diverses méthodologies	297
2. La bioaccessibilité et la biodisponibilité	298
3. Les paramètres des transferts trophiques	298
3.1. Les facteurs de transfert	298

3.2. L'efficacité de l'assimilation	301
4. La bioamplification	301
4.1. Le phénomène	301
4.2. Les exemples	303
4.3. Les limites de la bioamplification	305
4.4. Les voies de contamination	306
5. Les conséquences des mécanismes de détoxication et de la tolérance sur la bioamplification	307
Pour en savoir plus	309

Chapitre 11

Les interactions

Introduction	313
1. Quelques réflexions sur les études d'interactions	314
2. De la théorie à la pratique	314
2.1. Les définitions	314
2.2. Les méthodologies expérimentales d'études	315
2.3. Quelques exemples	318
3. Influence des facteurs écologiques	320
3.1. Niveaux d'exposition	320
3.2. Influence de l'espèce	321
3.3. Proportions des éléments entre eux	321
3.4. Contributions différentes dans le mélange	321
3.5. Voies d'exposition	322
3.6. Organes pris en compte	322
3.7. Température	323
4. Quelques applications des interactions	324
4.1. Les principales interactions entre éléments	324
4.2. La multi-exposition des consommateurs aux résidus de pesticides	326
5. Les mécanismes d'action : tentatives explicatives	326
6. Schéma d'études des interactions	327
7. Conclusions : quelques réflexions sur les méthodologies	328
Pour en savoir plus	329

Partie 4

Caractérisation du danger Les effets nocifs

Chapitre 12

La toxicité et la détoxication des polluants

Introduction	333
1. Les principes généraux de la toxicité	333
1.1. Définition d'un toxique	333
1.2. Les formes d'intoxication	334
1.3. Les diverses catégories de toxicité et mode d'action d'un toxique	335

1.4. Devenir du toxique (ou toxicocinétique)	336
1.5. Évaluation de l'exposition aux substances	336
2. Les mécanismes de la toxicité	338
2.1. Généralités sur les mécanismes d'action des toxiques	338
2.2. La lésion et la mort cellulaire	338
2.3. La toxicologie génétique	339
2.4. L'immunotoxicologie	340
2.5. La toxicologie au niveau des organes cibles	340
3. Facteurs influençant la réponse de l'organisme	342
3.1. Les facteurs biotiques	342
3.1.1. Facteurs spécifiques	342
3.1.2. Variations en fonction du stade vital ou d'intermue	342
3.1.3. Facteurs génétiques	343
3.1.4. Facteurs physiopathologiques	343
3.1.5. L'hypersusceptibilité	345
3.2. Les facteurs abiotiques	345
3.2.1. Facteurs d'environnement	345
3.2.2. La spéciation	345
3.2.3. Influence des facteurs naturels	346
3.2.4. Relation entre les espèces à larges potentialités écologiques et les espèces tolérantes à un stress chimique	347
4. Les mécanismes de défense et de détoxication	349
4.1. La régulation interne ou homéostasie de certains éléments	350
4.2. Biominéralisation	350
4.3. Métallothionéines	352
4.4. Les biotransformations	355
4.5. Les protéines de stress	355
4.6. Les résistances multiples aux xénobiotiques	356
5. La tolérance aux polluants	356
5.1. Résistance ou tolérance ?	356
5.2. Comment mettre en évidence la tolérance ?	356
5.3. La tolérance, un phénomène général	357
5.4. Quels mécanismes sont impliqués dans la tolérance ?	358
5.5. Effets des toxiques au niveau des populations et des communautés	358
6. Conclusions	359
Pour en savoir plus	359

Chapitre 13

Les méthodes d'évaluation des effets néfastes chez les êtres vivants

1. Les relations entre dose (concentration) et effet (réponse)	365
1.1. Les effets toxiques avec seuil et les effets toxiques sans seuil	366
1.2. Relation de l'effet avec la concentration et la durée d'exposition (loi de Haber)	368
1.3. La relation concentration globale versus effet nocif	368
1.3.1. La relation concentration globale versus effet nocif	369
1.3.2. L'approche du résidu corporel critique (<i>Critical Body Residue</i> , CBR)	369

1.3.3. L'approche du résidu dans les tissus (<i>Tissue Residue Approach, TRA</i>)	371
1.3.4. La relation concentration cytoplasmique <i>versus</i> effet nocif	372
2. Les principaux paramètres de toxicité	375
2.1. Détermination du seuil liminaire de toxicité	375
2.2. Effet et réponse acceptables	377
3. Méthodes en (éco)toxicologie	378
3.1. Évaluation des effets	378
3.2. Extrapolation d'une espèce à une autre	379
3.3. Bioessais monospécifiques	379
3.3.1. Les indicateurs biologiques	380
3.3.2. L'évaluation de la toxicité génétique	380
3.3.3. Les tests de toxicité <i>in vitro</i>	381
3.4. Études de terrain	381
3.5. La relation structure-activité ou QSAR (<i>Quantitative Structure Activity Relationships</i>)	381
4. Effets au niveau moléculaire	382
5. Effets aux niveaux tissulaire et cellulaire	382
5.1. Les cancers	382
5.2. Les mutations	383
6. Effets au niveau individuel	383
7. Effets au niveau populationnel	384
8. Effets au niveau des communautés et des écosystèmes	385
Pour en savoir plus	385

Chapitre 14

La toxicité et le mode d'action des principaux polluants

1. Les effets toxiques des polluants chimiques	389
1.1. Métaux	389
1.2. Polluants atmosphériques	391
1.3. Polluants organiques	392
1.3.1. PCB	392
1.3.2. Dioxines et furannes	393
1.3.3. PBDE	393
1.3.4. HAP	393
1.3.5. Pesticides	394
1.4. Biotoxines	394
1.4.1. Mycotoxines	394
1.4.2. Phycotoxines	395
1.4.3. Peptaïbols	395
1.5. Autres polluants	396
2. Les effets des radiations ionisantes	397
2.1. Généralités sur les radiations ionisantes	397
2.2. Effets sur l'ADN	399
2.3. Effets sur les autres biomolécules	401
2.4. Radiosensibilité des organismes et des tissus	402
2.5. Effets déterministes et stochastiques	404
3. Les modes d'action des polluants	406

3.1. Mécanismes de mort cellulaire	406
3.2. Interférence avec le transport d'oxygène	407
3.3. Action sur les enzymes	407
3.4. Toxicité par génération de radicaux libres et formes réactives à l'oxygène	408
3.5. Perturbations de l'homéostasie calcique et de l'équilibre acido-basique	408
3.6. Interférences avec le système immunitaire	409
3.7. Action directe sur les récepteurs	409
3.8. Actions secondaires	410
4. Évaluation de la toxicité des mélanges : un challenge difficile	410
4.1. Contexte	410
4.2. L'évaluation du risque cumulé	411
4.2.1. L'évaluation de la toxicité combinée (ou sans interaction)	411
4.2.2. Substances ayant des modes d'action différents et sans interaction	413
4.3. Existence d'interactions entre les substances	413
4.3.1. Interactions entre substances : synergie, antagonisme, inhibition, potentialisation	413
4.3.2. Prise en compte des interactions au sein des organismes : identification de différents sous-systèmes	414
4.3.3. Prise en compte des interactions au sein des organismes : modèle mixte (<i>mixed model</i>)	415
4.3.4. Prise en compte des interactions à l'échelle écologique : différence de sensibilité des espèces, populations, communautés	415
4.3.5. Autres méthodes disponibles	415
4.4. Conclusion : un champ encore largement ouvert	415
5. Facteurs d'équivalence toxique	416
Pour en savoir plus	419

Partie 5

La caractérisation des risques chimiques

Chapitre 15

La caractérisation du risque chimique dans l'environnement pour les êtres vivants

Introduction	423
1. Le contexte réglementaire de l'évaluation des risques environnementaux	424
2. Les principes généraux de l'évaluation des risques pour l'environnement	425
3. L'évaluation des expositions	426
3.1. L'estimation des rejets	426
3.2. Le devenir et le comportement dans l'environnement	428
3.2.1. Les essais de biodégradabilité : généralités	429
3.2.2. Distribution	429
3.2.3. Concentrations prédites dans l'environnement (PEC)	430
3.2.4. Devenir dans le sol : PEC _{sol} local	431
4. L'évaluation des effets	431
4.1. L'identification des dangers	431

4.2. Les différentes PNEC	433
4.3. Évaluation des effets dans l'eau	434
4.3.1. Méthode par facteur d'extrapolation	435
4.3.2. Méthode par extrapolation statistique	437
4.4. Évaluation des effets dans le cas d'un rejet intermittent	438
4.5. Évaluation des effets dans le sédiment	438
4.5.1. Quelles substances ?	438
4.5.2. Méthode du partage à l'équilibre	438
4.5.3. Méthode par facteur d'extrapolation	439
4.6. Évaluation des effets dus à l'empoisonnement secondaire	441
5. Caractérisation du risque	442
5.1. Les outils de la caractérisation des risques	444
5.2. Approche déterministe	444
6. Conclusions : quelques difficultés	444
Pour en savoir plus	445

Chapitre 16

La caractérisation du risque chimique chez l'homme

Introduction	447
1. La caractérisation du danger	449
2. Les valeurs toxiques de référence (VTR)	449
2.1. VTR des effets à seuil	451
2.2. VTR des effets sans seuil	452
2.3. Schéma général de construction des effets toxiques à seuil	452
2.4. Schéma général de construction des effets toxiques sans seuil	454
2.5. Les VTR reprotoxiques	455
2.6. Les diverses doses journalières et hebdomadaires	456
3. Diverses valeurs toxiques de référence	456
3.1. Les VTR avec seuil en cas de contamination par voie orale par des métaux	457
3.2. Les VTR en cas de contamination par des métaux après exposition par inhalation	458
3.3. Les VTR pour les PCB	458
3.4. Les VTR pour les dioxines	459
3.5. Les VTR pour les HAP	460
3.6. Les VTR pour les pesticides	461
3.7. Les VTR pour les phtalates (Bis(2-éthylhexyl)phtalate) ou DEHP	461
4. Les VLE, VME, VLCT et IDHL	461
5. Calcul de l'exposition et du risque pour les populations humaines	464
5.1. Évaluation de l'exposition	465
5.2. Les risques chimiques dans les aliments	467
5.3. Les risques chimiques au travail	468
6. Caractérisation du risque	472
6.1. Caractérisations des risques à seuil et sans seuil	472
6.2. L'approche de la marge d'exposition (<i>margin of exposure</i> , MOE)	473
6.3. L'approche des marges des charges corporelles (<i>margin of body burden</i> , MoBB)	475

6.4. L'approche du seuil de préoccupation toxicologique (TTC)	476
6.5. L'acceptabilité du risque	477
7. Les études épidémiologiques	477
7.1. Les types d'études épidémiologiques	478
7.2. Éléments de statistiques	480
8. Bénéfices ou risques ?	481
9. La gestion du risque et la communication sur le risque	483
9.1. La gestion des risques par les services publics	485
9.1.1. Les réglementations	485
9.1.2. Les contrôles	485
9.1.3. Les grands principes de gestion	491
9.1.4. La communication	492
9.1.5. Les répressions	493
9.2. La gestion des risques par les opérateurs	494
9.2.1. Les guides de bonnes pratiques d'hygiène et d'application des principes HACCP	494
9.2.2. Les préventions dans les domaines de la sécurité, de l'hygiène et de l'environnement	495
9.3. Les limites du système de gestion	496
Pour en savoir plus	497

Partie 6

Exemples de l'impact des polluants sur la flore et la faune

Chapitre 17

L'impact des polluants minéraux et des organométalliques

1. Eutrophisation	504
1.1. Les marées vertes (nitrates) : eutrophisation marine côtière à macroalgues	505
1.2. L'eutrophisation des eaux douces par le phosphate : cas du lac Léman	507
2. L'acidification des eaux douces. Causes et conséquences pour l'environnement	509
3. Les antisalissures (TBT et néogastéropodes)	510
3.1. L'effet « imposex »	510
3.2. L'épaississement de la coquille	511
4. Le cadmium	512
5. Le mercure	513
6. Les nanoparticules	515
7. Le saturnisme chez les oiseaux d'eau	517
8. Éléments essentiels (cuivre, zinc, fer)	520
Pour en savoir plus	523

L'impact des polluants organiques

1. Les accidents pétroliers et les marées noires	527
1.1. Les sources	527
1.2. La composition des pétroles	528
1.3. Le raffinage	529
1.4. Le devenir du pétrole en mer et sa dégradation	530
1.5. La bioaccumulation des HAP par les organismes	530
1.6. Généralités des effets sur les organismes	531
1.7. Exemples des effets suite à l'accident de l'Erika	532
1.7.1. Effets au niveau infraspécifique : matériel génétique et biomarqueurs chez la moule	532
1.7.2. Effets sur les larves	533
1.7.3. Effets sur les organismes de l'estran	533
1.7.4. Effets sur les poissons	534
1.7.5. Effets sur les oiseaux marins	535
1.7.6. Effets sur les mammifères marins	535
1.7.7. Le plus préoccupant des HAP, le benzo[a]pyrène	535
1.8. La guerre du Golfe	536
2. Les traitements phytosanitaires	536
2.1. Particularités écologiques propres aux pesticides	536
2.2. L'exemple du DDT sur les oiseaux, le faucon pèlerin et l'aigle chauve aux États-Unis	537
3. Les perturbateurs endocriniens (PE)	539
3.1. Conséquences des perturbations des hormones	539
3.2. Conséquences des perturbations endocriniennes pour l'environnement	543
4. Les antibiotiques	543
4.1. Impact des antibiotiques sur la structure et le fonctionnement des écosystèmes	543
4.2. Les antibiotiques utilisés en pisciculture intensive	544
Pour en savoir plus	545

Partie 7

Environnement et santé humaine

Chapitre 19

**Les risques liés aux polluants chimiques pour la santé
des populations humaines**

Introduction : la dégradation de l'environnement entraîne-t-elle une altération de la santé humaine ?	551
1. Les incidences de la pollution atmosphérique sur la santé humaine	553
1.1. Impact sur la santé de la pollution atmosphérique en milieu urbain	553
1.2. Le monoxyde de carbone (CO)	556
1.3. Les particules fines dans l'air	556

1.4. Le problème des dioxines rejetées par les incinérateurs	557
1.5. Les risques dus à l'utilisation des phytosanitaires en agriculture	558
2. Les risques sanitaires liés à la contamination des sols	559
2.1. Risques liés à la contamination des sols et des sédiments	559
2.2. Les effets indirects de la contamination des sols : contamination des eaux et des plantes cultivées et des animaux d'élevage	560
2.3. Les pesticides et produits apparentés	561
3. Les risques sanitaires liés à la pollution des eaux douces	563
3.1. Les normes européennes de qualité des eaux	563
3.2. Le problème des canalisations en plomb dans les habitations	563
3.3. Les nitrates	564
3.4. Les pesticides et produits apparentés	565
3.5. L'aluminium	566
3.6. Le chlore et les trihalométhanes	567
4. Les risques sanitaires liés aux aliments	568
4.1. Les risques sanitaires liés aux polluants inorganiques	569
4.2. Les risques sanitaires liés aux polluants organiques	570
4.3. Les radionucléides en milieu marin : le polonium 210	571
5. Les risques sanitaires liés à l'habitation	572
5.1. Le cas du saturnisme infantile en France	572
5.2. Le radon	574
5.3. L'amiante	576
5.3.1. Exposition naturelle des populations françaises à l'amiante	578
5.3.2. La réglementation actuelle	578
5.3.3. Des résistances à l'interdiction complète	579
5.4. Les produits chimiques dans l'air intérieur	580
6. Les risques sanitaires liés au travail	582
6.1. Les maladies professionnelles	582
6.2. Le bricolage et le jardinage	583
6.3. Les perturbateurs endocriniens	583
6.4. Les nanoparticules	584
7. Conclusions	585
Pour en savoir plus	586

Chapitre 20

**Les exemples d'altérations de la santé humaine
par des polluants métalliques**

1. L'accident de Minamata	591
1.1. Phénomène	591
1.2. Cause	591
1.3. Contamination de l'environnement marin	592
1.4. Contamination de l'homme	593
1.5. Conséquences	593
1.6. Autres cas d'intoxications humaines par le mercure	594
2. L'exposition au mercure de la population amérindienne Wayana de Guyane	594

- 2.1. Le mercure dans les poissons 595
- 2.2. Les apports alimentaires de mercure 595
- 2.3. Le mercure dans les cheveux et le lait maternel 596
- 2.4. Conséquences pour la santé des Amérindiens 597
 - 2.4.1. Caractéristiques anthropométriques des adolescents et des adultes 597
 - 2.4.2. Le cas des atteintes neurologiques des enfants 598
- 3. La contamination du riz par le cadmium 598
- 4. Les risques sanitaires des Féringiens se nourrissant de mammifères marins (Globicéphales) 600
 - 4.1. Le globicéphale noir comme source de Cd 600
 - 4.2. Concentration du Hg chez le globicéphale 601
 - 4.3. Conséquences pour le consommateur humain 601
- 5. L'arsenic dans les eaux 602
- 6. Le fluor dans les eaux 605
- Pour en savoir plus 607

Chapitre 21

Les exemples d'altérations de la santé humaine par des polluants organiques

- 1. Les pesticides 611
 - 1.1. Conséquences sanitaires des pesticides : des cancers de la lymphe 612
 - 1.2. Controverse sur la toxicité du Roundup de Monsanto 612
 - 1.3. Vers la réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires en Europe 613
 - 1.4. Exposition *in utero* aux pesticides et développement neurocomportemental des nourrissons 614
- 2. Le chlordécone aux Antilles 615
 - 2.1. Historique 615
 - 2.2. Les principaux résultats 616
 - 2.2.1. La caractérisation du danger 616
 - 2.2.2. Évaluation de l'exposition chronique 617
 - 2.2.3. Évaluation de l'exposition aiguë 618
 - 2.3. Les recommandations de l'Afssa 619
- 3. Les dioxines et substances apparentées (PCB, PBDE) 620
- 4. Les biotoxines 621
 - 4.1. Les mycotoxines 621
 - 4.2. Les phycotoxines 622
- 5. Les médicaments dans l'environnement et leurs conséquences sanitaires 623
- 6. Les perturbateurs endocriniens 624
 - 6.1. Les phtalates et la fertilité masculine 625
 - 6.2. Le diéthylstilbestrol (D.E.S.) 625
 - 6.3. Les PBDE 627
 - 6.4. De nouvelles questions sur le bisphénol A 627
 - 6.5. Conclusions 629
- Pour en savoir plus 631

Chapitre 22

Exemples d'estimation du risque radioactif à l'égard de l'homme

- Introduction 635
- 1. Les excès de leucémies dans le canton de Beaumont-Hague 636
 - 1.1. Présentation de la problématique 636
 - 1.2. Éléments de présentation de la région Nord-Cotentin 637
 - 1.2.1. Les activités nucléaires 637
 - 1.2.2. Le dispositif de surveillance de l'environnement 637
- 2. L'approche de la reconstruction du risque pour l'homme 638
 - 2.1. La problématique de l'évaluation des doses et des risques 638
 - 2.2. Estimation des rejets dans l'environnement 640
 - 2.3. Estimation de la contamination de l'environnement 640
 - 2.3.1. Modélisation du devenir des rejets marins 640
 - 2.3.2. Modélisation de l'impact des rejets atmosphériques 642
 - 2.3.3. Les transferts des radionucléides aux organismes terrestres 642
 - 2.3.4. Estimation des expositions 643
 - 2.3.5. Les expositions environnementales 644
 - 2.3.6. Les expositions médicales 645
 - 2.3.7. Les expositions professionnelles 645
 - 2.4. De l'exposition à la dose 645
 - 2.5. Résultats dosimétriques pour le Nord-Cotentin 646
 - 2.5.1. Doses *ex utero* dues aux rejets de routine des installations industrielles nucléaires 647
 - 2.5.2. Doses *ex utero* dues à l'ensemble des sources d'exposition 647
 - 2.5.3. Doses *ex utero* dues aux incidents et accidents 647
 - 2.5.4. Doses dues à l'exposition *in utero* du fait des rejets de routine des INB 648
 - 2.6. De la dose au risque 648
 - 2.7. Tentatives d'explication 649
- 3. Le cas de la pollution radioactive suite à l'accident de Tchernobyl 651
 - 3.1. Les faits 651
 - 3.2. Impact sanitaire 652
 - 3.3. Les pathologies 653
 - 3.3.1. Iode-131 et les pathologies thyroïdiennes 653
 - 3.3.2. Effets psychologiques 654
 - 3.4. Prévention des conséquences des accidents 654
 - 3.5. Le rapport de l'ONU sur Tchernobyl 655
 - 3.6. Les cas de cancers de la thyroïde en France 656
- 4. Le cas du Kazakhstan 657
- Pour en savoir plus 658

© Lavoisier - La photocopie non autorisée est un délit

© Lavoisier - La photocopie non autorisée est un délit

Partie 8

Les applications de l'évaluation du risque chimique

Chapitre 23

Les outils de l'évaluation du risque chimique

1. Les bioessais	663
1.1. Les principes généraux	663
1.2. Les tests de toxicité	665
1.3. Les tests d'écotoxicité	667
1.4. Avantages et inconvénients des bioessais	668
1.5. Des nouvelles générations de tests de toxicité	669
1.6. Quelques problèmes rencontrés dans l'utilisation des tests de toxicité	670
1.7. Conclusions sur les tests de toxicité	671
2. Les chaînes trophiques expérimentales	671
3. Les unités physiologiques : les cages à métabolisme, les cases lysimétriques et les cellules physiologiques	672
4. Les écotrons (microcosmes, mésocosmes et macrocosmes)	676
4.1. Les microcosmes	676
4.2. Qu'est-ce qu'un mésocosme ?	676
4.3. Caractéristiques générales des mésocosmes	677
4.4. Les mésocosmes lentiques ou statiques	678
4.5. Les mésocosmes lotiques ou dynamiques	679
4.6. Quels sont les principaux objectifs de l'utilisation des mésocosmes ?	679
4.7. Le contexte réglementaire de l'utilisation des mésocosmes	680
4.8. Mise en oeuvre des expérimentations	680
4.8.1. Préparation du mésocosme et phase de maturation	680
4.8.2. Injection des substances	681
4.8.3. Protocole expérimental	681
4.9. Les avantages et les limites des études en mésocosmes	682
4.9.1. Limites	682
4.9.2. Avantages	683
5. Les expériences en nature : les essais agronomiques et les transplantations	683
6. Les nouvelles disciplines : biologie moléculaire	684
7. Les modélisations	685
7.1. La modélisation de la dispersion des substances chimiques dans l'environnement physique	686
7.2. La modélisation des interactions des polluants avec les organismes	688
7.3. La modélisation des effets nocifs	689
Pour en savoir plus	690

Chapitre 24

Les autorisations de mise sur le marché (AMM)

Introduction	695
1. Produits de santé humaine	695

2. Médicaments à usage vétérinaire	697
3. Biocides	698
4. Produits phytopharmaceutiques (PPP)	699
5. Matières fertilisantes et supports de culture (MFSC)	701
6. Substances chimiques	702
7. REACH : une nouvelle procédure depuis juin 2007	703
Pour en savoir plus	709

Chapitre 25

Les méthodologies et les réseaux de surveillance de la qualité de l'environnement

Introduction	711
Pourquoi surveiller la qualité de l'environnement ?	711
Que devons-nous surveiller ?	712
Comment surveiller la qualité de l'environnement ?	712
Qui surveille la qualité de l'environnement ?	713
1. Les méthodologies de surveillance de la qualité de l'environnement	713
1.1. La quantification de la qualité des milieux physiques	713
1.1.1. La pollution atmosphérique	714
1.1.2. Les milieux liquides : eaux douces et marines	714
1.1.3. Les milieux solides : sédiments et sols	717
1.2. La quantification de la qualité des milieux à l'aide des organismes accumulateurs de polluants (bioaccumulateurs)	718
1.2.1. Indicateurs d'exposition	719
1.2.2. Choix des bioaccumulateurs	719
1.2.3. Difficultés d'interprétation	719
1.2.4. Amélioration des contrôles : expériences de transplantation de populations contrôlées	721
1.3. La quantification de la qualité des milieux à l'aide de la composition faunistique et floristique des écosystèmes : notions de bioindicateur et d'indices biotiques	721
1.3.1. Les caractéristiques d'un bioindicateur idéal en écotoxicologie	722
1.3.2. La qualité des eaux douces	722
1.3.3. La qualité de l'atmosphère	722
1.3.4. La qualité du milieu marin	723
1.4. La quantification de la qualité de l'environnement à l'aide des biomarqueurs	724
1.4.1. Introduction : les biomarqueurs, approche plus réaliste ?	724
1.4.2. Les biomarqueurs généralistes et spécifiques	724
1.4.3. Les biomarqueurs de défense et de dommage	725
1.4.4. Utilisation des biomarqueurs dans les programmes de surveillance	726
1.4.5. Perspectives : les biomarqueurs à vocation écologique	726
1.4.5. Perspectives : les biomarqueurs à vocation écologique	727
1.5. Les réglementations	727
2. Les réseaux de surveillance	729
2.1. La surveillance dans l'atmosphère	729
2.2. La surveillance dans les eaux douces	731

2.2.1. Le Réseau national de bassin (RNB) et réseaux complémentaires	731
2.2.2. Le Réseau hydrobiologique piscicole (RHP)	732
2.3. La surveillance dans les eaux marines	733
2.3.1. Le RNO, objectifs et paramètres	735
2.3.2. Le REMI	736
2.3.3. Le REPHY	737
2.3.4. Autres programmes de surveillance du milieu marin	738
2.3.5. Le Réseau national des données sur l'eau	740
2.4. La surveillance dans les sols	740
2.4.1. L'inventaire d'anciens sites industriels et activités de services BASIAS	740
2.4.2. L'inventaire des sites et des sols potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif, BASOL	741
2.5. La surveillance radiologique de l'environnement	742
2.5.1. Le contrôle du nucléaire	742
2.5.2. Les principes du contrôle	742
2.5.3. Le réseau de surveillance de l'IRSN	743
2.5.4. Réseau national de mesures de la radioactivité de l'environnement	744
3. Conclusions générales	745
Pour en savoir plus	746

Chapitre 26

Les accidents et les attentats chimiques

Introduction	749
1. Les accidents ayant un impact sur l'environnement	750
1.1. Accidents de transports terrestres, routiers et ferroviaires	750
1.2. Accidents maritimes	751
1.3. Accidents industriels	752
1.4. Accidents miniers	754
1.5. Incendies	755
2. Les accidents ayant un impact sanitaire	756
2.1. Accidents industriels	756
2.1.1. Seveso	757
2.1.2. Bhopal	757
2.1.3. AZF	758
2.1.4. Les établissements classés	759
2.2. Accidents de transports chimiques	759
2.3. Accidents alimentaires	760
2.4. Irradiations accidentelles	761
2.5. Échelle européenne des accidents industriels	761
2.6. Les rôles des sapeurs-pompiers	762
3. Les attentats	762
3.1. Les expositions aux armes chimiques	763
3.2. Les conséquences des attentats chimiques	764

3.3. Prévention des attentats	764
Pour en savoir plus	765

Conclusions

1. L'évaluation du risque chimique dû à la contamination de l'environnement	767
2. Certaines disciplines sont déficientes	768
3. Différence entre évaluations pour la flore et la faune, et pour l'homme	768
4. Les avancées et les limites de REACH	769
5. Protéger l'homme et/ou protéger l'environnement ?	769
6. L'homme, inventeur de nouvelles molécules chimiques	770
6.1. La pollution ignore les frontières administratives	770
6.2. Le problème des sites sains	770
7. Santé et environnement	771
7.1. Le coût de la « non-prévention »	771
7.2. Au niveau professionnel	772
7.3. Les risques émergents	772
7.4. Justice environnementale	772
8. Le regard des citoyens sur la notion de risque : démocratie et science	773
Pour en savoir plus	773
Index	775

Le nombre de substances chimiques mises sur le marché connaît un accroissement constant avec des usages très divers (domestique, industriel, agricole...). Parmi ces substances, certaines présentent un caractère dangereux et un risque toxique potentiel important qu'il est indispensable d'identifier et d'évaluer afin de réduire leur impact sur les organismes vivants et l'environnement.

Les risques chimiques environnementaux propose une synthèse complète des connaissances actuelles sur les principaux polluants chimiques de l'environnement (organiques, inorganiques, radioactifs, perturbateurs endocriniens...), leur comportement et leur devenir dans les divers compartiments physiques des milieux et au sein de tous les êtres vivants. L'ouvrage est articulé selon trois axes :

- ▶ l'analyse des méthodologies utilisées pour estimer les risques liés aux polluants environnementaux, selon les étapes de la démarche européenne (identification des dangers chimiques, évaluation de l'exposition aux dangers, caractérisations des dangers et des risques chimiques chez les êtres vivants). Les modes et mécanismes d'action de la toxicité des divers polluants sont également abordés ;
- ▶ l'étude d'exemples concrets de pollutions chimiques (hydrocarbures, phytosanitaires, nutriments, cadmium, zinc, mercure...) dans l'environnement et de leurs conséquences sur la faune et la flore mais également sur la santé humaine ;
- ▶ la présentation des principaux outils d'évaluation du risque chimique (tests de toxicité, outils de simulation, méthodes de modélisation...) et des applications qui en découlent (autorisations de mise sur le marché, méthodes et réseaux de surveillance de la qualité de l'environnement...).

Véritable ouvrage de référence convoquant de nombreuses disciplines telles que la toxicologie, la chimie, la biochimie, l'épidémiologie, la médecine clinique etc.,

Les risques chimiques environnementaux s'adresse aux ingénieurs, techniciens et industriels concernés par la prévention et l'évaluation des polluants environnementaux, aux responsables environnement des entreprises et collectivités ainsi qu'aux autorités sanitaires. Il intéressera également les enseignants et étudiants de troisième cycle préparant une formation aux sciences de l'environnement et à la gestion des risques.

Jean-Claude Amiard est directeur de recherche au CNRS et professeur associé au Québec. Il enseigne également dans différentes universités françaises où il procède à l'encadrement de thèses. Reconnu par la communauté scientifique nationale et internationale, ses recherches sont centrées sur l'estimation de la biodisponibilité et le transfert des métaux et radionucléides dans les chaînes trophiques. Il est l'auteur de nombreuses publications (130 publications internationales, 32 ouvrages ou chapitres, 140 congrès). Il met également à profit ses qualités d'expertise auprès de diverses instances.

