Table des matières

Avant-propos III
Liste des sigles et abréviations V
Introduction XVII

Chapitre 1
Définition de l'écotoxicologie, place parmi les sciences biologiques

1. Écologie et écotoxicologie 1
2. Écotoxicologie et toxicologie environnementale 3
   2.1. Bases conceptuelles relatives aux dimensions écologiques de l'écotoxicologie 5
      2.1.1. Le concept d'échelle en écotoxicologie 5
      2.1.2. Les différents contextes propres à l'approche écotoxicologique des problèmes de pollution de l'environnement 7
   2.2. Écotoxicologie rétrospective et prédictive 10
      2.2.1. Écotoxicologie rétrospective 10
      2.2.2. L'écotoxicologie prédictive 10
3. Écotoxicologie et protection environnementale 11

Chapitre 2
Causes et importance de la pollution de l'écosphère

1. Qu'entend-on par pollution ? 13
   1.1. Définition des pollutions 14
   1.2. Pollutions et nuisances 14
2. Classification des pollutions 15
3. Historique des pollutions 17
4. Causes et importance de la pollution de l'écosphère 18
   4.1. Les principales sources de pollution 20
      4.1.1. La production d'énergie, source majeure de pollution 20
      4.1.2. Les activités industrielles 29
      4.1.3. L'agriculture intensive 32
   4.2. La dispersion planétaire des polluants 34
      4.2.1. Des pollutions régionales à une pollution globale 34
      4.2.2. Pollutions et équilibres écologiques globaux 36

Chapitre 3
Dispersion et circulation des polluants dans l'écosphère

1. Circulation atmosphérique des polluants 39
   1.1. Structure de l'atmosphère 39
   1.2. Passage des polluants dans l'atmosphère 41

Contenu protégé par copyright

1.2.1. Lois générales de la circulation atmosphérique. 41
1.2.2. Le transport à distance des aéropolluants 45
1.3. Devenir des polluants dans l'atmosphère. 47
1.3.1. Le temps moyen de résidence 47
1.3.2. Modifications physico-chimiques des polluants atmosphériques . . 48
1.4. Pollutions et mésoclimats. 50
1.4.1. Dôme de pollution urbaine 50
1.4.2. Inversion de température et smogs 50
2. Transfert des polluants de l'atmosphère dans les sols et les eaux 52
2.1. Transfert des polluants de l'atmosphère vers la surface de l'écosphère . . 55
2.2. Transfert des polluants de l'atmosphère vers l'hydrosphère 56
2.3. Réaction entre polluants induisant la formation de polluants secondaires. 56
2.3.1. Formation des photo-oxydants 57
2.3.2. Polluants secondaires donnant lieu aux pluies acides 59
3. Incorporation des polluants dans la biomasse 60
3.1. Influence de la dégradabilité 61
3.1.1. Principaux processus de dégradation des polluants. 61
3.1.2. Exemples de processus de dégradation abiotique 62
3.2. Bioaccumulation et bioconcentration. 64
3.2.1. Notion de biodisponibilité. 64
3.2.2. La bioaccumulation 65
3.2.3. La bio-concentration 65
3.3. Existence de concentreurs biologiques 66
3.3.1. Bioconcentration dans les organismes terrestres. 66
3.3.2. Bioconcentration dans les organismes aquatiques. 67
3.4. Circulation des polluants dans les réseaux trophiques. 68
3.4.1. Bioamplification dans les réseaux trophiques aquatiques. 70
3.4.2. Bioamplification dans les réseaux trophiques terrestres 73
3.4.3. Principaux types de circulation des polluants dans les réseaux trophiques 79
3.4.4. Modalités et mécanismes de transfert dans les réseaux trophiques. 82
3.4.5. Modélisation du transfert des polluants dans les réseaux trophiques 85
4. Résumé et conclusion 87

Chapitre 4
Notion de toxique et implications écologiques

1. Définition de la toxicologie 91
2. Mode d'exposition et de pénétration des toxiques dans l'organisme 92
3. Les diverses manifestations de la toxicité 93
3.1. La toxicité aiguë. 93
3.2. La toxicité subaiguë 94
3.3. La toxicité à long terme 94
3.4. Problèmes de manifestation de la toxicité particuliers à l'écotoxicologie. 94
3.4.1. Antagonisme 95
3.4.2. Potentiation 95
4. Principaux effets physiotoxicologiques induits par l'exposition à des polluants 96
4.1. Altérations somatiques. 97
4.1.1. Effets sur les plantes vertes et autres organismes autotrophes 97
4.1.2. Effets sur les animaux 105
4.2. Altérations germinales 121
4.2.1. Effets sur le potentiel biotique. 121

Contenu protégé par copyright

4.2.2. Effets embryotoxiques et tératogènes 122
4.3. Génotoxicité et cancérogénicité 123
4.3.1. Mutagenèse 123
4.3.2. Nature et causes de la mutagenèse 124
4.3.3. Cancérogenèse 132

Chapitre 5
Détermination des principaux paramètres écotoxicologiques quantitatifs

1. Détermination des paramètres caractéristiques de l'écotoxicité 141
1.1. Évaluation de la toxicité d'un polluant 141
1.1.1. Tests de toxicité et/ou d'écotoxicité 141
1.1.2. Principaux paramètres écotoxicologiques et leur détermination ... 142
1.2. Relations dose ou concentration-réponse non monotone : le cas des substances hormétiques 149
1.3. Méthodes statistiques d'estimation de la toxicité 150
1.3.1. Transformation de probit 150
1.3.2. Limites de la méthode de probit 157
1.4. Principales méthodes de tests de toxicité 158
1.4.1. Principaux types de bio-essais en toxicologie de l'environnement. 158
1.4.2. Bioessais d'effets mutagènes et tératogènes 162
2. Indices quantitatifs de préservation de la santé publique et environnementale . 165
2.1. Indices d'évaluation de la contamination 166
2.2. Facteurs d'équivalence de toxicité 166
2.3. Seuils de sécurité (éco)toxicologiques 168
2.3.1. Établissement des seuils de sécurité environnementaux 169
2.3.2. Autres indicateurs de seuils de sécurité 171
2.3.3. Limites des notions de seuil et d'indicateurs de sécurité (éco)toxicologique 173
3. Dimensions scientifiques et éthiques de la protection écotoxicologique 176

Chapitre 6
Effets des polluants sur les populations

1. Principaux types d'effets démo-écologiques des polluants 180
1.1. Effets sur la mortalité 180
1.1.1. Effets de la mortalité sur des populations végétales 180
1.1.2. Effets sur des populations animales 181
1.1.3. Effets létaux des pollutions sur des populations d'espèces marines 183
1.1.4. Effets létaux des radiations ionisantes 184
2. Effets des polluants sur le potentiel biotique des populations contaminées 186
2.1. Effets sur la reproduction 187
2.1.1. Diminution de potentiel biotique des populations aviennes exposées à des composés organochlorés 187
2.1.2. Autres exemples d'effets des polluants sur le potentiel biotique des populations exposées 192
2.2. Effets sur la mortalité embryonnaire et néonatale 196
2.2.1. Embryotoxicité 196
2.2.2. Diminution du potentiel biotique due à la perturbation de l'embryogenèse 196
2.2.3. Mortalité néonatale 197
3. Effets sur la croissance 198

Contenu protégé par copyright

4. Conséquences démo-écologiques des perturbations comportementales induites par les polluants 200
5. Effets des polluants sur l'interaction entre les populations de deux espèces ... 204
5.1. Modifications de la pression de prédation due à la pollution de l'environnement 204
5.2. Autre type d'effets sur les relations interspécifiques des polluants 207
6. Adaptation des populations aux polluants : tolérance et résistance 213
6.1. Tolérance aux métaux lourds 213
6.2. Résistance aux pesticides 216
6.2.1. Résistance des insectes aux insecticides 217
6.2.2. Résistance des plantes aux herbicides 220
6.2.3. Autres exemples de résistance aux polluants 222
6.2.4. Résistance aux multixénobiotiques 222

Chapitre 7
Effets des polluants sur les écosystèmes

1. Effets des polluants sur la structure des écosystèmes 228
1.1. Réduction d'abondance et de richesse spécifique 228
1.1.1. Effets des polluants sur les espèces-clefs de voûte des peuplements 232
1.1.2. Effets sur la dominance 233
1.2. Effets sur la diversité spécifique 234
1.3. Effets des polluants sur la distribution d'abondance des peuplements ... 238
1.4. Effets sur la succession 239
2. Effets sur le fonctionnement des écosystèmes 241
2.1. Effets sur la biomasse et la productivité primaires 242
2.1.1. Effets sur la productivité des écosystèmes terrestres 242
2.1.2. Effets sur la productivité des écosystèmes aquatiques 249
2.1.3. Effets des polluants sur la productivité primaire des récifs coralliens et des écosystèmes marins côtiers annexes 255
2.1.4. Effet de la pollution des océans par le pétrole 265
2.2. Effets sur la productivité secondaire des écosystèmes 267
2.3. Action des polluants sur le cycle de la matière 271
2.3.1. Effets sur les décomposeurs 272
2.3.2. Effets sur la régulation fonctionnelle du cycle de la matière par les consommateurs 276
2.3.3. Conséquences sur le recyclage des éléments minéraux nutritifs dans les écosystèmes 279
3. Descripteurs des effets des polluants sur la régulation du fonctionnement des écosystèmes 279

Chapitre 8
Perturbation des cycles biogéochimiques par les polluants
Conséquences écologiques

1. Perturbation des cycles biogéochimiques d'éléments biogènes 288
1.1. Perturbation du cycle du carbone 290
1.1.1. Monoxyde de carbone 291
1.1.2. Hydrocarbures 292
1.2. Perturbation du cycle biogéochimique de l'azote 294
1.2.1. Principaux polluants gazeux dérivés de l'azote 295
1.3. Perturbation du cycle biogéochimique du soufre 301

Contenu protégé par copyright

1.3.1. Cycle biogéochimique du soufre dans les conditions naturelles . . . 301
1.3.2. Action de l'homme sur le cycle du soufre . . . 305
1.4. Interactions entre aéropolluants à l'échelle globale . . . 307
2. Perturbation des cycles biogéochimiques d'éléments xénobiotiques toxiques . 309
2.1. Perturbation du cycle du plomb . . . 309
2.1.1. Cycle biogéochimique du plomb dans les conditions naturelles . . . 310
2.1.2. Perturbations du cycle biogéochimique du plomb par l'action de l'homme . . . 310
2.2. Perturbation du cycle de l'arsenic . . . 318
2.2.1. Sources et flux naturels d'arsenic dans la biosphère . . . 319
2.2.2. Perturbations du cycle biogéochimique de l'arsenic par l'action de l'homme . . . 319
2.3. Perturbation du cycle du mercure . . . 321
2.3.1. Flux naturels de mercure dans les principaux compartiments de la biosphère . . . 321
2.3.2. Perturbations du cycle biogéochimique du mercure par l'action de l'homme . . . 324
2.4. Perturbation du cycle du cadmium . . . 332
2.4.1. Cycle biogéochimique du cadmium dans les conditions naturelles 332
2.4.2. Perturbations du cycle biogéochimique du cadmium par l'action de l'homme . . . 332
2.5. Conséquences de la pollution par les éléments toxiques . . . 336
3. Cycles biogéochimiques des polluants organiques persistants . . . 338
3.1. Cycle biogéochimique des hydrocarbures aromatiques polycyliques (HAP) 338
3.1.1. Passage des HAP dans les réseaux trophiques . . . 341
3.2. Cycle biogéochimique des composés organochlorés . . . 342
3.2.1. Passage des composés organochlorés dans les réseaux trophiques. 342
3.3. Cycle biogéochimique des dioxines (PCDD) et des polychlorodibenzofuranes (PCDF) . . . 345
3.3.1. Modalités de dispersion et persistance des PCDD et des PCDF dans l'environnement . . . 346
3.3.2. Contamination des réseaux trophiques par les PCDD et les PCDF 348

Chapitre 9
Écotoxicologie nucléaire

1. Nature des rayonnements . . . 351
2. Radioactivité – Notions de radioécologie . . . 354
2.1. Période physique et période biologique . . . 354
2.2. Importance radioécologique des radio-isotopes . . . 356
2.3. Unités de radioactivité et d'irradiation . . . 359
3. Principaux types d'effets démo-écologiques des radiations ionisantes . . . 360
3.1. Radiosensibilité comparée des êtres vivants aux doses létales . . . 360
3.2. Effets des doses sublétales . . . 361
3.2.1. Effets physiologiques . . . 362
3.2.2. Effets sur le potentiel biotique . . . 363
3.2.3. Effets mutagènes et cancérogènes . . . 365
4. Principales causes de pollution nucléaire . . . 369
4.1. Cycle du « combustible » . . . 370
4.2. Pollution par les retombées des tests atmosphériques d'armes nucléaires. 372
4.3. Pollution de l'environnement par l'industrie nucléaire . . . 374
4.3.1. Effluents rejetés par l'industrie nucléaire . . . 374

Contenu protégé par copyright

4.3.2. Problème du stockage des déchets. 377
5. Conséquences écologiques de la pollution nucléaire 379
5.1. Comportement des radionucléides produits par l'industrie nucléaire dans les écosystèmes 379
5.1.1. Contamination des eaux continentales 379
5.1.2. Contamination radioactive des eaux marines 385
5.1.3. Contamination radioactive des écosystèmes terrestres 390
5.2. Risques d'accidents dans l'industrie nucléaire et conséquences radioécologiques. 396
5.2.1. Scénario de référence d'un accident affectant une centrale nucléaire 396
5.2.2. L'accident de Tchernobyl 397
5.2.3. Études des conséquences de l'exposition aux radiations pour les communautés 406

Chapitre 10
Monitoring des polluants

1. *Monitoring* des polluants dans les écosystèmes 411
1.1. Contamination des organismes – Les bio-indicateurs de contamination . . 413
1.1.1. Caractéristiques requises d'un bio-indicateur 413
1.1.2. Facteurs qui influencent la fiabilité des bio-indicateurs 414
1.2. Utilisation des indicateurs biologiques d'accumulation. 420
1.2.1. Utilisation d'espèces bioaccumulatrices dans les biotopes aquatiques 420
1.2.2. Utilisation d'espèces bioaccumulatrices dans les biotopes terrestres 428
2. Biomarqueurs 436
2.1. Définition des biomarqueurs 437
2.2. Réaction des organismes à une contamination par des xénobiotiques toxiques 437
2.2.1. Notion de xénobiotique 437
2.2.2. Étapes de la réaction d'un organisme contaminé par un xénobiotique 438
2.3. Principaux types de biomarqueurs 440
2.3.1. Identification des biomarqueurs en fonction de la phase concernée de l'action d'un xénobiotique 440
2.3.2. Classification des biomarqueurs 441
2.4. Niveaux d'organisation concernés et spécificité des biomarqueurs. 443
2.4.1. Niveaux d'organisation 443
2.4.2. Spécificité des biomarqueurs. 444
2.5. Principales applications des biomarqueurs 445
2.6. Biomarqueurs d'exposition 447
2.6.1. Biomarqueurs d'exposition aux métaux et métalloïdes toxiques . . 447
2.6.2. Biomarqueurs d'exposition aux insecticides organophosphorés et aux carbamates 449
2.6.3. Biomarqueurs d'exposition aux HAP 450
2.6.4. Biomarqueurs d'exposition aux composés organochlorés 451
2.6.5. Biomarqueurs d'exposition aux polluants génétoxiques. 452
3. Monitoring des changements produits par les polluants 454
3.1. Biomarqueurs d'effets 454
3.1.1. Biomarqueurs d'effets marqués par des inhibitions enzymatiques . 455
3.1.2. Biomarqueurs de stress chimique 455
3.1.3. Biomarqueurs associés au métabolisme énergétique. 457
3.1.4. Biomarqueurs d'effets cytologiques et histologiques 459
3.1.5. Biomarqueurs d'effets comportementaux 460

Contenu protégé par copyright

3.2. Bio-indicateurs d'effets : *monitoring* d'espèces « sentinelles » 461
3.2.1. Principaux groupes taxonomiques donnant lieu à un usage comme bio-indicateurs d'altération des communautés par des polluants 462
3.3. Évaluation de la richesse spécifique et des indices de diversité dans le *monitoring* écotoxicologique 471
3.3.1. Évaluation de la richesse spécifique 471
3.3.2. Utilisation des indices de diversité dans le monitoring écotoxicologique 473
3.3.3. Usage des indices biotiques dans le monitoring écotoxicologique . 474
3.3.4. Usage d'indices factoriels et de l'analyse multivariée dans le monitoring des polluants 478

Chapitre 11
Prévision des effets et évaluation du risque environnemental

1. Réglementation européenne relative au risque pour l'environnement des substances chimiques 481
1.1. Caractéristiques des substances chimiques et biotests exigés pour l'homologation 482
1.1.1. Substances soumises à déclaration 482
1.1.2. Substances soumises à un dossier de notification complet 483
1.2. Importance et limites de la réglementation européenne de l'évaluation du risque chimique 486
2. Prévision du comportement d'un polluant dans un écosystème 487
2.1. Prévision du potentiel de bioamplification d'une substance chimique ... 487
2.2. Prévision de la concentration d'une substance chimique dans un biotope terrestre ou aquatique à la suite d'une pollution 491
2.2.1. Loi et constante de Henry 492
2.2.2. Modèles de dispersion dans l'environnement 494
3. Prévision des effets des polluants sur les individus et les populations 495
3.1. Évaluation de la relation quantitative structure-activité (QSAR) 495
3.2. Usage des biomarqueurs dans la prévision des effets 497
4. Prévision des effets sur les écosystèmes 499
4.1. Mésocosmes 500
4.1.1. Mésocosmes aquatiques 500
4.1.2. Mésocosmes terrestres 516
4.2. Enclos 518
4.2.1. Enclos limniques 518
4.2.2. Enclos en milieu marin 520
4.3. Recherches effectuées sur des fractions d'écosystèmes naturels 522
5. Évaluation du risque écotoxicologique 524
5.1. Évaluation du risque fondée sur des modèles simplifiés de populations ou de communautés 524
5.2. Évaluation du risque fondée sur des modèles écosystémiques 525
Annexe 529
Bibliographie 549
1. Ouvrages généraux 549
2. Autres ouvrages, publications originales et mises au point 550
Index général 585
Index taxonomique 609

Contenu protégé par copyright