

# Table des matières

<b>Préface</b> . . . . .	xi
André MARIOTTI	
<b>Introduction</b> . . . . .	1
Thierry BURGEOT, Christophe MINIER, Damien CUNY, Marie-Amélie CUNY, Antonio BISPO et Cécile GRAND	
<b>Chapitre 1. Étude de la qualité des milieux aquatiques : caractérisation des impacts écotoxiques</b> . . . . .	5
Thierry BURGEOT, Paco BUSTAMANTE, Jérôme FORT, Marie-Agnès COUTELLEC, Didier AZAM, Olivier GEFFARD, Arnaud CHAUMOT, Jean ARMENGAUD, Lorraine MALTBY, Christophe MINIER, Wilfried SANCHEZ, Jean-Marc PORCHER et Anne BADO-NILLES	
1.1. Contexte et enjeux . . . . .	5
1.2. Stratégie d'application et étude de cas . . . . .	7
1.2.1. Les gammars comme espèce sentinelle pour la surveillance des milieux aquatiques. . . . .	7
1.2.1.1. Introduction . . . . .	7
1.2.1.2. Réponses biologiques disponibles chez <i>Gammarus</i> pour évaluer l'impact toxique des milieux . . . . .	8
1.2.1.3. La biosurveillance des milieux : mise en œuvre avec <i>Gammarus</i> . . . . .	12
1.2.1.4. Extrapolation et pertinence écologique des observations faites chez le gammare engagé . . . . .	17

1.2.1.5. Conclusion. . . . .	22
1.2.2. Évaluation du risque écologique des substances chimiques du gène à la population : un exemple sur la lymnée <i>Lymnaea stagnalis</i> . . . . .	23
1.2.2.1. Introduction . . . . .	23
1.2.2.2. Réponses infra-individuelles . . . . .	26
1.2.2.3. Réponses supra-individuelles des limnées : variation intra et inter-populations. . . . .	32
1.2.3. État de santé des poissons en rivière . . . . .	46
1.2.3.1. Introduction . . . . .	46
1.2.3.2. Déploiement des biomarqueurs au sein d'un réseau de surveillance . . . . .	47
1.2.3.3. Retour d'expérience sur l'utilisation des biomarqueurs dans un contexte d'investigation terrain . . . . .	52
1.2.3.4. En marche vers l'application réglementaire des biomarqueurs. . . . .	59
1.2.4. Recherche d'effets et de leurs causalités en milieu estuarien : l'intersexualité chez les scrobiculaires . . . . .	60
1.2.4.1. Introduction . . . . .	60
1.2.4.2. L'intersexualité chez <i>S. plana</i> : occurrence et sévérité. . . . .	61
1.2.4.3. Facteurs confondants : taille, sexe-ratio et parasites . . . . .	63
1.2.4.4. Identification du mécanisme moléculaire. . . . .	65
1.2.4.5. Recherche des composés responsables : l'approche EDA . . . . .	67
1.2.4.6. Conclusion et perspectives . . . . .	70
1.2.5. Les indicateurs écotoxicologiques chez les organismes marins : de la recherche à la réglementation pour la surveillance . . . . .	70
1.2.5.1. Vingt-cinq années d'évolution méthodologique pour atteindre un consensus européen . . . . .	71
1.2.5.2. Développement méthodologique de l'approche intégrée de chimie et écotoxicologie en Atlantique Nord-Est . . . . .	81
1.2.5.3. Processus d'application de la méthode intégrée chimie et écotoxicologie en surveillance à l'échelle nationale : lancement du plan de surveillance DCSMM. . . . .	96
1.2.5.4. Conclusion et perspectives . . . . .	96
1.2.6. Mammifères et oiseaux marins, indicateurs de la contamination du milieu . . . . .	97
1.2.6.1. Introduction . . . . .	97
1.2.6.2. Caractéristiques des mammifères et oiseaux marins comme indicateurs de la contamination du milieu . . . . .	99
1.2.6.3. Conclusion. . . . .	113
1.3. Conclusion et perspectives. . . . .	114

1.4. Remerciements . . . . .	115
1.5. Bibliographie . . . . .	116

## **Chapitre 2. La biosurveillance végétale et fongique de la qualité de l'air : contexte et enjeux . . . . . 147**

Damien CUNY, Marie-Amélie CUNY, Jean-François CASTELL,  
Florent OCCELLI, Laetitia DAVRANCHE, Xavier LAFFRAY, Christophe ROSE  
et Jacques MERSCH

2.1. Introduction . . . . .	147
2.1.1. Préambule . . . . .	147
2.1.2. Place et enjeux de la biosurveillance . . . . .	148
2.1.3. Les différents concepts utilisés en biosurveillance de la qualité de l'air . . . . .	149
2.1.4. Le processus de normalisation . . . . .	150
2.2. Impacts de l'ozone sur les cultures et les écosystèmes : conséquences pour la biosurveillance . . . . .	153
2.2.1. L'ozone : une menace pour l'alimentation humaine et la production primaire des écosystèmes . . . . .	154
2.2.2. Impacts physiologiques de l'ozone sur les végétaux . . . . .	155
2.2.3. Estimation des impacts sur les rendements des cultures et la productivité des écosystèmes . . . . .	158
2.2.4. Applications en biosurveillance de la qualité de l'air . . . . .	162
2.2.5. Conclusion : intérêts et limites de la biosurveillance de l'ozone . . . . .	165
2.3. La biosurveillance lichénique de la pollution azotée : cas pratique de cartographie . . . . .	166
2.3.1. Introduction . . . . .	166
2.3.2. Matériel et méthodes . . . . .	167
2.3.2.1. La zone d'étude . . . . .	167
2.3.2.2. La norme AFNOR X43-903 : détermination de l'indice biologique de lichens épiphytes (IBLE) . . . . .	168
2.3.2.3. Maillage et échantillonnage de la zone d'étude . . . . .	168
2.3.2.4. Les relevés lichéniques . . . . .	168
2.3.2.5. Calcul de l'IBLE . . . . .	169
2.3.2.6. Représentation cartographique . . . . .	170
2.3.2.7. Covariables explicatives et analyse statistique . . . . .	170
2.3.3. Résultats et discussion . . . . .	171
2.3.3.1. Cartographie lichénique : le ratio d'eutrophie . . . . .	171
2.3.3.2. Cartographie lichénique : la diversité lichénique . . . . .	172
2.3.3.3. Influence du milieu sur les communautés épiphytes . . . . .	175

---

2.3.4. Discussion . . . . .	177
2.3.5. Conclusion . . . . .	178
2.4. Biosurveillance des dépôts particulaires : évolution des techniques d'extraction des cires épicuticulaires des organes foliaires des conifères . . . .	179
2.4.1. Introduction . . . . .	179
2.4.2. Les cires des conifères : une barrière de protection des végétaux . . . . .	179
2.4.3. Les cires épicuticulaires : un outil de biosurveillance. . . . .	181
2.4.4. Décirage des surfaces foliaires : une méthodologie évolutive . . . .	182
2.4.5. Collecte et préparation des échantillons d'aiguilles . . . . .	182
2.4.5.1. La collecte des échantillons. . . . .	182
2.4.5.2. Le séchage des échantillons . . . . .	183
2.4.6. Extraction des cires . . . . .	183
2.4.6.1. Le choix du solvant d'extraction. . . . .	183
2.4.6.2. La durée d'extraction . . . . .	184
2.4.7. Vers un protocole standardisé d'extraction des cires épicuticulaires... . . . .	186
2.4.8. ... et vers la normalisation AFNOR . . . . .	187
2.4.9. Exemple d'application . . . . .	187
2.5. Biosurveillance des retombées de contaminants atmosphériques au moyen de deux indicateurs d'accumulation : les bryophytes et les cultures de graminées . . . . .	188
2.5.1. Introduction . . . . .	188
2.5.2. Les méthodes standardisées . . . . .	189
2.5.3. Les différents domaines d'application. . . . .	191
2.5.4. L'interprétation des résultats . . . . .	192
2.5.5. Exemples d'applications. . . . .	194
2.5.5.1. Suivi dans le temps de l'impact environnemental du plomb au droit d'une activité industrielle (cultures standardisées de graminées) . . . . .	194
2.5.5.2. Évaluation spatio-temporelle de l'impact environnemental des HAP atmosphériques à l'interface d'un site industriel et d'une agglomération (cultures standardisées de graminées) . . . .	195
2.5.5.3. Répartition spatiale de l'impact des dioxines/furanes autour d'une source d'émission (cultures standardisées de graminées) . . . . .	195
2.5.5.4. Répartition spatiale des concentrations en HAP au droit d'un émetteur industriel (bryophytes terrestres). . . . .	197
2.5.5.5. Répartition spatiale de l'impact du plomb autour d'une source d'émission potentielle (bryophytes terrestres). . . . .	198

2.5.5.6. Cartographie de l'impact du nickel autour d'infrastructures routières (bryophytes terrestres) . . . . .	199
2.6. Conclusion . . . . .	200
2.7. Bibliographie. . . . .	202

### **Chapitre 3. Étude de la qualité des milieux terrestres : caractérisation des impacts écotoxiques dans les sols. . . . . 217**

Cécile GRAND, Sandrine ANDRES, Fabienne BATTAGLIA-BRUNET, Daniel CLUZEAU, Annette DE VAUFLEURY, Olivier FAURE, Valérie GUERIN, Muriel GUERNION, Jennifer HARRIS-HELLAL, Catherine JOULIAN, Battle KARIMI, Marina LE GUEDARD, Pascal PANDARD, Benjamin PAUGET, Guénola PERES, Nicolas PUCHEUX, Lionel RANJARD, Lucie ROUX, Cécile VILLENAVE et Antonio BISPO	
3.1. Contexte et enjeux . . . . .	217
3.2. Outils et approches pour la caractérisation biologique des sols . . . . .	220
3.2.1. Les outils d'évaluation écotoxicologiques et écologiques . . . . .	221
3.2.2. Présentation des outils d'évaluation de la bio-accumulation. . . . .	222
3.2.2.1. Charge métallique totale-Végétaux (CMT-Végétaux) . . . . .	226
3.2.2.2. Somme des excès de transfert-Escargots (SET-Escargots) . . . . .	227
3.2.2.3. Interprétation des indices de bio-accumulation . . . . .	228
3.2.3. Les démarches possibles d'évaluations écotoxicologiques et écologiques des sols. . . . .	228
3.3. Différentes applications de ces outils biologiques . . . . .	232
3.3.1. Surveillance locale de sites d'intérêt. . . . .	233
3.3.1.1. Surveillance biologique de parcelles viticoles en transition . . . . .	233
3.3.1.2. Surveillance d'un site contaminé : relation entre spéciation, mobilité, biodisponibilité et toxicité de l'As. . . . .	236
3.3.2. Les réseaux de surveillance nationaux. . . . .	241
3.3.2.1. Des référentiels nationaux de qualité des sols basés sur les communautés bactériennes des sols . . . . .	241
3.3.2.2. Des référentiels nationaux de qualité des sols basés sur les communautés d'invertébrés des sols (en cours d'élaboration). . . . .	244
3.3.3. Méthodologie d'évaluation des risques écotoxicologiques et écologiques (approche TRIADE) . . . . .	247
3.3.4. Évaluation de la performance d'une opération de traitement des sols pollués par phytoremédiation. . . . .	256
3.3.5. Reconversion des sols : restauration d'un écosystème terrestre . . . . .	265

3.4. Conclusion et perspectives . . . . .	272
3.5. Bibliographie . . . . .	274
<b>Conclusion</b> . . . . .	<b>281</b>
Thierry BURGEOT, Christophe MINIER, Damien CUNY, Marie-Amélie CUNY, Antonio BISPO et Cécile GRAND	
<b>Liste des auteurs</b> . . . . .	<b>283</b>
<b>Index</b> . . . . .	<b>287</b>