

20034

Utilisation de biomarqueurs pour la surveillance

de la qualité de l'environnement



Laurent Lagadic
Thierry Caquet
Jean-Claude Amiard
François Ramade

coordonnateurs



TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos

Introduction

LES BIOMARQUEURS PARMI LES MÉTHODES D'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DE L'ENVIRONNEMENT _____ XXI

J.-C. AMIARD, TH. CAQUET ET L. LAGADIC

1. Pourquoi surveiller la qualité de l'environnement ?.....	XXII
2. Comment surveiller la qualité de l'environnement ?.....	XXIII
2.1 Détection et quantification des polluants : le recours à l'analyse chimique.....	XXIII
2.2 L'approche biologique.....	XXIV
2.2.1 Des bioindicateurs pour évaluer l'état de santé écologique des milieux.....	XXV
2.2.2 Les biomarqueurs, des outils pour évaluer l'état de santé des individus.....	XXVII
3. Utilisation de biomarqueurs dans différents types d'écosystèmes.....	XXVIII
Références bibliographiques.....	XXX

Chapitre 1**HISTORIQUE – FONDEMENTS BIOLOGIQUES DE L'UTILISATION
DES BIOMARQUEURS EN ÉCOTOXICOLOGIE**

J.-F. NARBONNE

1. La surveillance de l'environnement.....	1
2. L'apparition de la notion de biomarqueur.....	2
3. Les étapes historiques du développement des biomarqueurs pour la surveillance de l'environnement.....	3
Références bibliographiques.....	6

Chapitre 2**INDICATEURS BIOCHIMIQUES DE POLLUTION DES ÉCO-
SYSTÈMES CÔTIERS : EXPÉRIENCE DU GROUPE INTERFACE
CHIMIE-BIOLOGIE DES ÉCOSYSTÈMES MARINS (GICBEM)**X. MICHEL, J.-F. NARBONNE, P. MORA, M. DAUBÈZE, D. RIBERA,
M. LAFAURIE, H. BUDZINSKI ET PH. GARRIGUES

Introduction.....	9
1. Présentation des missions du GICBEM dans la Méditerranée nord occidentale	10
1.1 Sites d'étude	10
1.2 Contaminants	11
1.3 Espèces sources de biomarqueurs	12
1.4 Biomarqueurs étudiés.....	14
2. Résultats des campagnes GICBEM 1989/1991 en Méditerranée occidentale	15
2.1 Campagnes 1989.....	15
2.1.1 Campagne de Juillet 1989.....	15
2.1.1.1 Concentrations en contaminants.....	15
2.1.1.2 Biomarqueurs.....	16
2.1.2 Campagne de novembre 1989	21
2.2 Campagne 1991.....	21
2.2.1 Concentrations en contaminants	21
2.2.2 Biomarqueurs.....	21
2.2.2.1 Activité AChE chez la moule	21
2.2.2.2 Activités enzymatiques de phase I chez la moule et le Serran	21
3. Discussion.....	26
4. Expérience de transplantation d'organismes dans le bassin d'Arcachon	27

5. Conclusions.....	28
Remerciements	29
Références bibliographiques.....	30

Chapitre 3

APPLICATION DE L'EROD CHEZ LES POISSONS MARINS DANS UN PROGRAMME PLURIDISCIPLINAIRE DE SURVEILLANCE DE LA MER DU NORD	33
--	----

TH. BURGEOT ET F. GALGANI

Introduction.....	33
1. Le programme de surveillance de la mer du Nord	35
1.1 Mise en place de la surveillance.....	36
1.2 Définition des zones d'étude.....	36
2. Description générale de la mer du Nord	38
3. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les polychlorobiphényles (PCB) en mer du Nord.....	40
3.1 Mesures des PCB et HAP dans l'eau	40
3.2 Mesure des PCB et HAP dans les sédiments	42
3.3 Distribution des PCB et HAP dans les organismes marins	43
4. Exposition des organismes aux polluants : mesure de l'activité EROD.	45
4.1 Facteurs influençant les variations de l'activité EROD	46
4.2 Mesure de l'activité EROD et recensement de maladies chez le poisson	48
4.3 Cartographie de l'activité EROD en mer du Nord.....	49
4.4 Surveillance des effets biologiques sur les côtes françaises en Baie de Seine.....	50
5. Conclusion	54
Références bibliographiques.....	55

Chapitre 4

UTILISATION DE L'ACTIVITÉ ENZYMATIQUE EROD CHEZ LES POISSONS DES HYDROSYSTÈMES CONTINENTAUX	57
--	----

P. FLAMMARION, J. GARRIC ET G. MONOD

Introduction.....	57
1. Mise en évidence de l'induction de l'EROD <i>in situ</i>	59

2. Influence de facteurs autres que la pollution chimique	62
2.1 Les conditions de mesure	62
2.2 L'espèce.....	63
2.3 Le sexe des individus et la saison	64
2.4 La température de l'eau.....	64
2.5 L'alimentation	65
2.6 Inhibition et interactions	66
2.7 Stratégies actuellement envisagées	66
3. Recherche de relations entre l'induction de l'EROD et des effets au niveau d'autres variables biologiques.....	68
4. Bilan et perspectives	68
Références bibliographiques.....	72

Chapitre 5

UTILISATION DES MÉTALLOTHIONÉINES COMME BIOMAR- QUEURS D'EXPOSITION AUX MÉTAUX ————— 77

R.P. COSSON ET J.-C. AMIARD

Introduction.....	77
1. Aperçu des techniques analytiques de détection et de quantification des métallothionéines.....	79
1.1 Techniques chromatographiques.....	79
1.2 Méthodes de substitution des métaux	80
1.3 Méthode polarographique	81
1.4 Méthodes immunologiques (RIA et ELISA).....	81
1.5 Quantification des ARNm.....	82
1.6 Commentaires	82
2. Aperçu des sources de variabilité des teneurs en métallothionéines	83
2.1 Variations liées à l'état physiologique des organismes	84
2.1.1 Variabilité chez les poissons.....	84
2.1.2 Variabilité chez les invertébrés	87
2.1.2.1 Mollusques.....	87
2.1.2.2 Crustacés.....	88
2.2 Variations liées à l'espèce étudiée.....	89
2.2.1 Variabilité entre groupes zoologiques.....	89
2.2.1.1 Comparaison Amphibiens/Poissons	89
2.2.1.2 Comparaison poïkilothermes/homéothermes	90
2.2.2 Variabilité au sein d'un même groupe zoologique	90
2.2.2.1 Invertébrés	90
2.2.2.2 Vertébrés	90
2.2.3 Variabilité au sein d'une même espèce	91

2.2.3.1 Variabilité d'origine génétique	91
2.2.3.2 Variabilité d'origine tissulaire.....	91
3. Exemples d'application	92
3.1 Utilisation de mollusques	95
3.2 Utilisation de poissons	95
3.3 Utilisation d'oiseaux	97
3.4 Utilisation de mammifères	99
4. Conclusion	101
Références bibliographiques.....	103

Chapitre 6

BIOMARQUEURS MOLÉCULAIRES D'EXPOSITION DES ORGANISMES MARINS AUX PESTICIDES ORGANOPHOSPHORÉS ET CARBAMATES	111
---	-----

F. GALGANI ET G. BOCQUENÉ

Introduction.....	111
1. Les pesticides en milieu marin : le cas des organophosphorés et des carbamates	111
1.1 Les organophosphorés.....	112
1.1.1 Apports, transferts et niveaux de concentration des OPs dans l'environnement.....	113
1.1.2 Dégradation des organophosphorés	115
1.2 Les carbamates	116
1.2.1 Apports, transferts et niveaux de concentration des carbamates dans l'environnement	116
1.2.2 Dégradation des carbamates	116
1.3 Évaluation des conséquences de la présence de pesticides dans le milieu marin	116
2. L'acétylcholinestérase.....	117
2.1 Méthodes de dosage de l'activité acétylcholinestérasique	118
2.2 Sources de variabilité de l'activité acétylcholinestérasique.....	118
2.2.1 Variabilité liée aux conditions expérimentales	118
2.2.2 Un exemple de protocole de mesure de l'activité AChE adapté aux espèces marines	120
2.2.3 Variabilité naturelle de l'acétylcholinestérase	122
3. Toxicologie des pesticides organophosphorés et carbamates présents dans l'environnement.....	124
3.1 Tests de toxicité <i>in vitro</i> des organophosphorés et carbamates.....	124
3.2 Évaluation de la toxicité <i>in vivo</i> des organophosphorés et carbamates.....	126

3.3 La toxicité <i>in situ</i> des composés organophosphorés et carbamates	127
4. Les cholinestérases dans la stratégie d'évaluation des effets des pesticides organophosphorés et carbamates en milieu marin.....	128
5. Perspectives	131
Références bibliographiques.....	132

Chapitre 7

BIOMARQUEURS D'EXPOSITION DES OISEAUX ET DES PETITS MAMMIFÈRES AUX POLLUANTS..... 135

J.-L. RIVIÈRE, M.-O. FOUCÉCOURT ET C.H. WALKER

Introduction.....	135
1. Les contaminants de l'environnement et leurs effets.....	135
2. Utilisation de biomarqueurs chez les animaux terrestres	138
2.1 Biomarqueurs d'exposition aux insecticides organophosphorés et carbamates : les estérases	138
2.2 Biomarqueurs d'exposition aux hydrocarbures aromatiques polycycliques halogénés ou non (HAPH et HAP) : les cytochromes P450, les porphyrines plasmatiques et les rétinoïdes	147
2.2.1 Cytochrome P450	147
2.2.2 Porphyrines plasmatiques et rétinoïdes	150
2.3 Biomarqueurs d'exposition aux produits génotoxiques.....	151
2.4 Biomarqueurs d'exposition aux métaux lourds : la δ -aminolévulinatase déshydratase (ALAD), les métallothionéines et les porphyrines.....	153
2.5 Biomarqueurs d'exposition aux rodenticides anticoagulants.....	154
2.6 Autres biomarqueurs	154
3. Conclusion. Utilisation des biomarqueurs pour l'évaluation des risques environnementaux des polluants	155
Références bibliographiques.....	155

Chapitre 8

BIOMARQUEURS D'EXPOSITION DES VÉGÉTAUX TERRESTRES AUX POLLUANTS. APPLICATION À LA POLLUTION PAR LES MÉTAUX..... 165

J. VANGRONVELD, M. MENCH, B. MOCQUOT ET H. CLIJSTERS

Introduction.....	165
-------------------	-----

1. Biomarqueurs spécifiques des métaux.....	167
1.1 Phytochélatines	167
1.2 Séléno-protéines.....	169
2. Biomarqueurs non-spécifiques des métaux	170
2.1 Modifications enzymatiques	171
2.2 Métabolites.....	173
2.3 Indicateurs liés aux membranes	173
2.4 Tests de génotoxicité	173
2.5 Fluorescence.....	175
3. Limites à l'emploi de biomarqueurs	175
4. Conclusion	177
Références bibliographiques.....	178

Chapitre 9

BIOMARQUEURS ENDOCRINIENS : INDICATEURS HORMONAUX DE TOXICITÉ SUBLÉTALE CHEZ LES POISSONS 183

A. HONTELA

1. L'intégrité physiologique et le défi des xénobiotiques environnemen- taux chez les Poissons.....	183
2. Biomarqueurs hormonaux chez les Poissons.....	185
2.1 Utilisation des indicateurs hormonaux dans la détection des anomalies physiologiques causées par le pH acide.....	185
2.1.1 Définition du problème et présentation des travaux expéri- mentaux en laboratoire	185
2.1.2 Validation de l'AVT en tant que biomarqueur hormonal de stress toxique causé par le pH acide <i>in situ</i>	186
2.2 Utilisation des marqueurs hormonaux pour la détection des ano- malies causées par les polluants organiques sur la reproduction ...	187
2.2.1 Définition du problème et présentation des travaux expéri- mentaux de laboratoire	187
2.2.2 Validation des stéroïdes sexuels en tant que biomarqueurs hormonaux des anomalies reproductrices <i>in situ</i>	188
2.3 Utilisation du cortisol et des hormones thyroïdiennes plasmatiques dans la détection des anomalies physiologiques causées par les polluants organiques et les métaux lourds	189
2.3.1 Définition du problème et présentation des travaux en labo- ratoire : la réponse hormonale au stress toxique.....	189
2.3.2 Validation <i>in situ</i> du cortisol et des hormones thyroïdiennes plasmatiques en tant que biomarqueurs hormonaux des	

anomalies physiologiques causées par les polluants organiques et les métaux lourds.....	191
3. Éléments pour la mise en place d'une stratégie d'utilisation des biomarqueurs hormonaux <i>in situ</i>	194
3.1 Paramètres physiologiques et écologiques à considérer.....	194
3.2 Traitements statistiques.....	195
3.3 Méthodes non-invasives.....	195
Remerciements.....	196
Références bibliographiques.....	196

Chapitre 10

UTILISATION DES RÉTINOÏDES EN TANT QUE BIOMARQUEURS – 201

P.A. SPEAR ET D.H. BOURBONNAIS

Introduction.....	201
1. Biochimie et rôle biologique des rétinoïdes.....	201
1.1 Absorption, stockage et métabolisme.....	201
1.2 Effets de la carence et de l'excès de vitamine A.....	205
1.2.1 Effets d'une carence en vitamine A.....	205
1.2.2 Effets d'un excès de vitamine A.....	207
1.3 Bases moléculaires de l'activité vitaminique A.....	207
2. Effets des contaminants de l'environnement sur les stocks de rétinoïdes et utilisation de ces derniers comme biomarqueurs.....	208
2.1 Rétinoïdes vitellins des œufs d'Oiseaux.....	208
2.1.1 Études de laboratoire.....	208
2.1.2 Études de terrain.....	208
2.1.3 Sources de variation – Stratégies d'échantillonnage.....	211
2.2 Rétinoïdes hépatiques et intestinaux.....	212
2.2.1 Oiseaux.....	212
2.2.1.1 Études de laboratoire.....	212
2.2.1.2 Études de terrain.....	213
2.2.2 Poissons.....	214
2.2.3 Mammifères.....	215
2.2.3.1 Études de laboratoire.....	215
2.2.3.2 Études de terrain.....	217
2.3 Rétinol sanguin.....	217
3. Interprétation des fluctuations des stocks de rétinoïdes.....	218
4. Sensibilité comparée des rétinoïdes et d'autres biomarqueurs.....	219
5. Conclusion.....	220
Références bibliographiques.....	220

Chapitre 11

LA FRAGILITÉ LYSOSOMALE EN TANT QUE BIOMARQUEUR CYTOLOGIQUE _____	225
J. PELLERIN-MASSICOTTE ET R. TREMBLAY	
Introduction.....	225
1. L'activité lysosomale	226
2. Fragilisation de la membrane lysosomale – Mécanismes et implications dans la recherche de biomarqueurs cellulaires.....	228
2.1 Mécanismes d'action des facteurs de stress sur la membrane lysosomale.....	228
2.2 Recherche de biomarqueurs cellulaires.....	230
2.3 Méthodes d'étude	231
3. Réponses lysosomales aux contaminants chez des populations indigènes d'invertébrés et de vertébrés.....	233
3.1 Réponses lysosomales au stress chez les Mollusques.....	234
3.2 Réponses lysosomales au stress chez les Poissons	237
4. Applicabilité au niveau des écosystèmes.....	239
Références bibliographiques.....	240

Chapitre 12

BASES MOLÉCULAIRES, GÉNÉTIQUES ET POPULATIONNELLES DE LA RÉSISTANCE DES INSECTES AUX INSECTICIDES _____	243
M. AMICHOT, J.-B. BERGÉ, A. CUANY, N. PASTEUR, D. PAURON ET M. RAYMOND	
Introduction.....	243
1. Les mécanismes biochimiques et génétiques de la résistance des insectes aux insecticides	244
1.1 Les cibles des insecticides.....	244
1.2 Les enzymes de détoxification	247
1.2.1 Les estérases	248
1.2.2 Les monooxygénases à cytochrome P450	248
1.2.3 Les glutathion S-transférases	251
2. Les mécanismes populationnels de la dispersion des gènes de résistance aux insecticides	251
2.1 Dynamique du développement de la résistance	252
2.2 Variabilité intra- et interspécifique.....	252
2.3 Gènes de résistance et facteurs de l'environnement	253

3. Signification écotoxicologique de la résistance.....	254
3.1 Résistance et <i>fitness</i> écologique.....	255
3.2 Perspectives.....	256
4. Conclusion.....	257
Références bibliographiques.....	257

Chapitre 13

CONSÉQUENCES D'ATTEINTES INDIVIDUELLES PRÉCOCES SUR LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS ET LA STRUCTURATION DES COMMUNAUTÉS ET DES ÉCOSYSTÈMES	265
--	-----

TH. CAQUET ET L. LAGADIC

Introduction.....	265
1. Mécanismes fondamentaux de la dynamique des populations, des communautés et des écosystèmes et de leur structuration.....	267
1.1 Populations.....	267
1.2 Communautés.....	268
1.3 Écosystèmes.....	272
2. Biomarqueurs et comportement.....	276
2.1 Biomarqueurs de neurotoxicité.....	276
2.2 Biomarqueurs comportementaux <i>sensu stricto</i>	276
2.2.1 Comportement d'évitement.....	277
2.2.1.1 Évitement par rapport aux contaminants ou aux sites contaminés.....	277
2.2.1.2 Comportement d'évitement par rapport aux prédateurs.....	279
2.2.2 Comportement reproducteur et comportement parental.....	279
2.2.3 Comportement de recherche et de prise de nourriture.....	280
2.3 Perspectives.....	280
3. Reproduction, développement, croissance et allocation des ressources.....	281
3.1 Biomarqueurs d'altération des processus hormonaux.....	281
3.1.1 Biomarqueurs et mimétiques d'œstrogènes.....	282
3.1.2 Biomarqueurs de la contamination du milieu marin par le tributyl-étain (TBT).....	283
3.2 Biomarqueurs et allocation des ressources à la croissance et à la reproduction.....	285
4. Conclusion – Limites à l'utilisation des biomarqueurs pour la prévi- sion des effets au niveau des populations et des communautés.....	287
Références bibliographiques.....	289

Conclusion

BIOMARQUEURS ET ÉVALUATION DE L'IMPACT ÉCOLOGIQUE DES POLLUANTS	299
L. LAGADIC, J.-C. AMIARD ET TH. CAQUET	
1. Intérêt des biomarqueurs pour la surveillance de la qualité de l'environnement	299
2. Limites d'utilisation des biomarqueurs dans le milieu naturel	300
3. Validation de l'utilisation des biomarqueurs pour la surveillance de la qualité de l'environnement	302
3.1 Aspects méthodologiques	302
3.2 Interprétation des résultats : signification des biomarqueurs	303
3.2.1 Approche diagnostique : biomarqueurs et impact des polluants sur l'environnement	303
3.2.2 Approche prédictive : biomarqueurs et évaluation du risque écologique	304
4. Conclusion	305
Références bibliographiques	306