

RAPPORT D'ÉTUDE  
N° DRC-08-95306-16133A

10/12/2008

**Synthèse bibliographique : Expériences  
étrangères sur l'utilisation des biomarqueurs  
pour la surveillance des milieux aquatiques**

**INERIS**

maîtriser le risque |  
pour un développement durable |



# **Synthèse bibliographique : Expériences étrangères sur l'utilisation des biomarqueurs pour la surveillance des milieux aquatiques**

Convention ONEMA-INERIS 2008

Action n° 27

Développement et validation de biomarqueurs chez le poisson et construction d'un " indice synthétique "

INERIS, Unité d'écotoxicologie in vitro et in vivo,  
Verneuil en Halatte (Oise)

Client : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques

## PRÉAMBULE

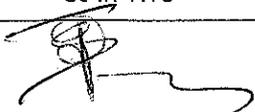
Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Wilfried SANCHEZ	Jean-Marc PORCHER	Eric THYBAUD
Qualité	Ingénieur à l'unité d'écotoxicologie in vitro et in vivo	Responsable de l'unité d'écotoxicologie in vitro et in vivo	Responsable du pôle VIVA
Visa			

## TABLE DES MATIÈRES

<b>LISTE DES ABREVIATIONS .....</b>	<b>6</b>
<b>1. RESUME.....</b>	<b>7</b>
<b>2. ABSTRACT .....</b>	<b>7</b>
<b>3. INTRODUCTION ET OBJECTIFS.....</b>	<b>9</b>
<b>4. UTILISATION DES BIOMARQUEURS POUR LA SURVEILLANCE DES MILIEUX AQUATIQUES.....</b>	<b>11</b>
4.1 Dans des programmes de recherche.....	11
4.2 Dans des réseaux de biosurveillance.....	15
<b>5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>19</b>
<b>6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>21</b>

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**AChe** : Acétylcholinestérase

**ALAD** : Amino-levulinic acid deshydratase

**BEEP** : Biological Effects of Environmental Pollution in Marine Coastal Ecosystems

**BEQUALM** : Biological Effects Quality Assurance in Monitoring Programs

**BEST-LRMN** : Biomonitoring of Environmental Status and Trends - Large Rivers Monitoring Network

**BIOMAR** : Biological Markers of Environmental Contamination in Marine Coastal Ecosystems

**ECOMAN** : Ecosystem Management Bioindicators

**EDMAR** : Endocrine Disruption in the Marine Environment

**EROD** : 7-éthoxyrésorufine-O-dééthylase

**FULLMONTI** : Development of Fully Integrated Monitoring Techniques Index

**JAMP** : Joint Assessment and Monitoring Programme

**LOES** : National Investigation into the Occurrence and Effects of Estrogenic compounds in the Aquatic Environment

**Programme MEDPOL** : Programme pour la surveillance et le contrôle de la pollution en Méditerranée

**MODELKEY** : Models for Assessing and Forecasting the Impact of Environmental Key Pollutants on Marine and Freshwater Ecosystems and Biodiversity

**MXR** : Résistance Multi-Xénobiotiques

**MT** : Métallothionéines

**Convention OSPAR** : Convention d'Oslo et de Paris pour la protection de l'environnement marin en Atlantique du Nord-Est

**VALIMAR** : Validation of Biomarkers for the Assessment of Small Stream Pollution

**VTG** : Vitellogénine

## **1. RESUME**

Au cours des 25 dernières années, de nombreux biomarqueurs ont été développés dans un objectif de biosurveillance des milieux aquatiques. Toutefois, peu de ces outils sont utilisés dans le cadre des réseaux pérennes de surveillance des milieux aquatiques. Ce rapport dresse, en s'appuyant sur les expériences internationales antérieures, un bilan du potentiel des biomarqueurs pour évaluer le statut écotoxicologique des milieux aquatiques dans le cadre des programmes de surveillance de la DCE

## **2. ABSTRACT**

In the past 25 years, numerous biomarkers have been developed with the objective to apply them for aquatic ecosystem biomonitoring. However, few of these tools are used in aquatic environment monitoring networks. This document reviews the potential of biomarkers for ecotoxicological status assessment in WFD monitoring programs based on previous international experiments.



### **3. INTRODUCTION ET OBJECTIFS**

Initialement développés en biologie humaine pour fournir un diagnostic précoce de certaines pathologies, les biomarqueurs ont rapidement été utilisés en écotoxicologie dans l'objectif d'évaluer les effets de la contamination des milieux sur les organismes sauvages. Dans ce contexte, les biomarqueurs ont été définis comme des changements observés ou mesurés à différents niveaux d'organisation biologique infra-populationnels et qui reflètent l'exposition des organismes à au moins un contaminant (Depledge, 1993 ; Lagadic et al., 1997). Toutefois, afin de prendre en considération la diversité des contaminants présents dans les écosystèmes aquatiques et la multiplicité de leurs effets, il est rapidement apparu nécessaire de recourir à une approche multi-biomarqueurs basée sur la mesure de biomarqueurs complémentaires permettant de couvrir une large gamme d'effets à des niveaux d'organisation différents (Flammarion et al., 2002 ; Galloway et al., 2004a ; Sanchez et al., 2008). Les recherches menées sur cette thématique ont mis en avant la complémentarité de l'approche multi-biomarqueurs avec les méthodes conventionnelles de surveillance des milieux aquatiques<sup>1</sup>. Les biomarqueurs peuvent permettre d'identifier les effets biologiques précoces de la contamination sur les organismes (Vasseur et Cossu-Leguille, 2003) mais également les sources de contamination (Galloway et al., 2004a). De plus, les biomarqueurs mesurés aux niveaux les plus bas de l'organisation biologique<sup>2</sup> peuvent participer à la caractérisation des voies mécanistiques permettant de lier exposition et effets (Galloway et al., 2004b). Enfin, des biomarqueurs mesurés à des niveaux d'organisation biologique différents peuvent être mis en œuvre d'une approche basée sur le poids des évidences qui permettrait d'étayer le diagnostic environnemental et d'établir un lien entre le statut chimique et le statut écologique des masses d'eau (Van der Oost et al., 2003 ; Hagger et al., 2006).

Malgré cela, les biomarqueurs ne sont utilisés que de manière anecdotique dans les réseaux de surveillance. Ce document a pour objectif de dresser un état des lieux de l'utilisation des biomarqueurs pour la surveillance des milieux et, en s'appuyant sur ces expériences, de proposer des voies d'utilisation de ces outils et des axes de recherche visant à faciliter leur utilisation dans un objectif d'évaluation et de gestion du risque environnemental.

---

<sup>1</sup> Il s'agit là des analyses chimiques réalisées dans l'eau, le sédiment ou les organismes, et des méthodes de bioindication basées sur le dénombrement de certaines espèces dans le milieu.

<sup>2</sup> Des mesures au niveau moléculaire, biochimique voir histologique peuvent être envisagées.



## 4. UTILISATION DES BIOMARQUEURS POUR LA SURVEILLANCE DES MILIEUX AQUATIQUES

### 4.1 DANS DES PROGRAMMES DE RECHERCHE

Les biomarqueurs sont fréquemment utilisés dans des programmes de recherche nationaux et internationaux visant à valider ces outils dans un objectif de surveillance des milieux ou à dresser un état des lieux de la contamination et de ses effets. Contrairement aux réseaux pérennes de biosurveillance, ces études se caractérisent généralement par une faible emprise spatiale et temporelle. Il existe toutefois quelques études de grande envergure qui sont susceptibles d'apporter une information pertinente quant à l'utilisation des biomarqueurs pour la surveillance des effets de la contamination sur les organismes aquatiques (Tableau 1). Par exemple, différents programmes européens tels que BIOMAR, BEEP et MODELKEY se sont attachés à l'évaluation du potentiel d'un certain nombre de biomarqueurs pour la surveillance des milieux aquatiques et au développement de stratégies globales d'évaluation du risque environnemental intégrant les biomarqueurs. De même, un certain nombre de programmes nationaux ont été développés à travers l'Europe avec le même objectif (e.g. programme ECOMAN au Royaume-Uni, programme VALIMAR en Allemagne). Ces programmes de recherche appliquée ont permis de mettre en avant le potentiel et l'applicabilité de certains biomarqueurs pour évaluer l'état de santé des organismes vivant en milieu naturel. De plus, ils permettent de proposer des stratégies pratiques d'utilisation de ces outils écotoxicologiques pour la surveillance des milieux aquatiques. C'est par exemple le cas du projet ECOMAN mis en œuvre au Royaume-Uni qui, suite à la mesure d'un ensemble de biomarqueurs chez des invertébrés marins (Tableau 1), a permis de proposer une méthodologie pour l'utilisation en routine des biomarqueurs dans un objectif de surveillance des milieux estuariens et côtiers. Cette méthodologie s'appuie sur 4 étapes avec :

- Une sélection des sites basée sur le recueil d'informations relatives au type d'habitat, aux pressions exercées et aux données disponibles.
- Une sélection des espèces utilisées s'appuyant sur leur occurrence sur les sites d'étude, leur pertinence écologique et la disponibilité des méthodes d'analyse.
- Des analyses combinant la mesure des biomarqueurs à des analyses chimiques qui permettent d'établir un premier diagnostic de l'état de dégradation des milieux.
- Des analyses associant biomarqueurs, mesures chimiques et études écologiques afin de préciser la nature et les effets de la contamination sur les sites les plus dégradés.

A côté de ces programmes méthodologiques, des projets nationaux ont utilisé les biomarqueurs afin d'évaluer la contamination et ses effets sur les organismes. C'est par exemple le cas du programme LOES mis en œuvre aux Pays-Bas pour établir un diagnostic de la contamination des eaux du pays par les perturbateurs endocriniens et qui s'appuyait, en complément d'analyses chimiques, sur la mesure de la vitellogénine et sur l'analyse histologique des gonades. Ce programme concluait alors sur la contamination massive des écosystèmes aquatiques néerlandais par les perturbateurs endocriniens et formulait des recommandations techniques pour les futurs programmes de surveillance en préconisant le recours à des approches combinées incluant le dosage de la vitellogénine (Vethaak et al., 2005). D'autres programmes nationaux similaires menés à travers l'Europe ont également proposé des conclusions similaires pour la mise en œuvre des programmes de surveillance des milieux aquatiques (Allen et al., 2002 ; Tarrant et al., 2005).

Ces différents programmes de recherche ont d'une part contribué à la proposition d'outils et de stratégies de surveillance de la contamination des milieux aquatiques et de ses effets intégrant les biomarqueurs, et d'autre part mis en évidence, à une échelle géographique compatible avec des études de recherche, le potentiel de ces outils pour établir un diagnostic environnemental. D'une manière générale, il apparaît que les biomarqueurs peuvent être intégrés dans une approche multi-paramétrique basé sur le poids des évidences où il représente une composante importante permettant de considérer les effets de la contamination sur les organismes. Dans ce contexte, les biomarqueurs les plus prometteurs semblent être des paramètres pour lesquels nous disposons d'une bonne connaissance sur leur sensibilité, sur les effets de facteurs confondant et sur la signification de la réponse. De ce fait, on peut citer des biomarqueurs utilisés depuis de nombreuses années en écotoxicologie comme l'activité EROD, les métallothionéines, l'acétylcholinestérase ou encore la vitellogénine.

Tableau 1. Présentation de différents programmes de recherche menés en Europe autour de la thématique des biomarqueurs et de leur utilisation pour la surveillance des milieux aquatiques.

Nom et acronyme du programme <sup>a</sup>	Objectif	Biomarqueurs utilisés / Espèces	Emprise spatiale et temporelle
<b>BIOMAR</b> : Biological Markers of Environmental Contamination in Marine Coastal Ecosystems (UE)	Développer un ensemble de biomarqueurs, utilisable par les gestionnaires de l'environnement, chez des organismes sentinelles afin de surveiller la contamination et ses effets	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Activités de biotransformation, marqueurs de génotoxicité, réponse immunitaire, AChE, paramètres de la reproduction et métallothionéines</li> <li>- Flet, moule</li> </ul>	<p><b>Spatiale</b> : mer Baltique, mer du Nord, baie d'Arcachon, mer Méditerranée, lagune de Venise</p> <p><b>Temporelle</b> : 1994-1998</p>
<b>BEEP</b> : Biological Effects of Environmental Pollution in Marine Coastal Ecosystems (UE)	Développement et validation de marqueurs à l'interface chimie, biologie, biochimie et écotoxicologie, pour le suivi précoce des effets de la contamination et d'outils de traitement des données	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Activités de biotransformation, marqueurs de génotoxicité, réponse immunitaire, AChE, paramètres de la reproduction, métallothionéines, résistance multi-xénobiotique (MXR) et protéines de stress</li> <li>-Flet, moule</li> </ul>	<p><b>Spatiale</b> : zones côtières en mer Baltique, mer Méditerranée et océan Atlantique Nord</p> <p><b>Temporelle</b> : 2000-2003</p>
<b>MODELKEY</b> : Models for Assessing and Forecasting the Impact of Environmental Key Pollutants on Marine and Freshwater Ecosystems and Biodiversity (UE)	Développer une approche multi-disciplinaire permettant de vérifier les diagnostics environnementaux et de développer des outils de prédiction	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Activité EROD</li> <li>- Chevaine</li> </ul>	<p><b>Spatiale</b> : 3 cours d'eau européens : Elbe (Allemagne et République Tchèque), Escaut (France, Belgique et Pays-Bas), Llobregat (Espagne)</p> <p><b>Temporelle</b> : 2005-2010</p>
<b>LOES</b> : National Investigation into the Occurrence and Effects of Estrogenic compounds in the Aquatic Environment (PB)	Fournir un cadre pour le diagnostic de la contamination des milieux aquatiques des Pays Bas par les perturbateurs endocriniens oestrogénomimétiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vitellogénine, histopathologie des gonades et du foie, facteur de condition, indices somatiques</li> <li>- Brème, Flet</li> </ul>	<p><b>Spatiale</b> : Eaux de surface continentales et marines, et effluents des Pays Bas (54 sites)</p> <p><b>Temporelle</b> : 1 an</p>

Nom et acronyme du programme*	Objectif	Biomarqueurs utilisés	Emprise spatiale et temporelle
<b>EDMAR</b> : Endocrine Disruption in the Marine Environment (RU)	Développer des outils d'étude de la perturbation endocrinienne et évaluer la contamination du milieu marin par les perturbateurs endocriniens	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vitellogénine, spiggin, histopathologie des gonades</li> <li>- Flet, épinoche, divers invertébrés</li> </ul>	<p><b>Spatiale</b> : milieu estuarien et côtier du Royaume Uni</p> <p><b>Temporelle</b> : 1998-2002</p>
<b>ECOMAN</b> : Ecosystem Management Bioindicators (RU)	Développer es technique de surveillance de l'environnement permettant de lier la dégradation de l'environnement et ses causes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Activité estérasique, stabilité des lysosomes, phagocytose, statut antioxydant, rythme cardiaque, comportement</li> <li>- Divers invertébrés</li> </ul>	<p><b>Spatiale</b> : Royaume Uni</p> <p><b>Temporelle</b> : 2001-2004</p>
<b>VALIMAR</b> : Validation of Biomarkers for the Assessment of Small Stream Pollution (A)	Valider la réponse des biomarqueurs dans le cadre d'une approche de type « poids des évidences » et évaluer la pertinence écologique de ces biomarqueurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Protéines de stress, enzymes de biotransformation, enzymes métaboliques, histopathologie et comportement</li> <li>- Truite fario, loche franche</li> </ul>	<p><b>Spatiale</b> : 2 cours d'eau allemands (Körsch et Krähenbach)</p> <p><b>Temporelle</b> : 1995-1999</p>
<b>FULLMONTI</b> : Development of Fully Integrated Monitoring Techniques Index (RU)	Développer un indice intégrateur d'évaluation de l'état de santé des écosystèmes basé sur des mesures chimiques, biochimiques et écologiques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Activité EROD, adduits à l'ADN, activité AChE, vitellogénine, métallothionéines, stabilité des lysosomes</li> </ul>	Sans objet

\* Le pays ou l'organisme développant le programme est indiqué entre parenthèses.

UE : Union Européenne, PB : Pays-Bas, RU : Royaume-Uni, A : Allemagne.

## 4.2 DANS DES RESEAUX DE BIOSURVEILLANCE

Malgré les préconisations des études de recherche, peu de réseaux pérennes de surveillance des milieux aquatiques intègrent les biomarqueurs. En milieu continental, le réseau américain BEST-LRMN (Biomonitoring of Environmental Status and Trends - Large Rivers Monitoring Network) apparaît comme l'unique réseau national qui utilise les biomarqueurs pour évaluer la contamination de l'environnement par des contaminants persistants organiques et métalliques mais aussi pour détecter des changements à de faibles niveaux d'organisation biologique avant que des effets populationnels soient visibles (Bauch et al., 2005). Ce réseau a pour objectif d'évaluer la santé des poissons dans différents bassins versants (Mississippi, Rio Grande, Yukon,...) en mettant en œuvre un ensemble de marqueurs mesurés, chez le poisson<sup>3</sup>, au niveau de l'organisme ou à des niveaux d'organisation inférieurs (Schmitt et al., 2005 ; Hinck et al., 2006, 2007, 2008). Les paramètres mesurés incluent la concentration de contaminants dans les organismes, des indicateurs de santé des poissons (facteur de condition, indices somatiques, activité de biotransformation, paramètres d'agrégation des macrophages) et des marqueurs liés à la fonction de reproduction (hormones stéroïdiennes, vitellogénine, histologie de la gonade) parmi lesquels figurent des biomarqueurs biochimiques (Tableau 2). Les paramètres sélectionnés sont choisis pour intégrer la réponse des organismes à différents niveaux d'organisation biologique. L'exploitation spatiale et temporelle des données obtenues permet d'examiner les variations des différents contaminants et des effets précoces de la contamination sur les poissons. Cependant, l'exploitation des résultats est rendue difficile du fait de l'influence de facteurs biotiques (maturité sexuelle, statut alimentaire, age, ...) et abiotiques (saison, température, pH,...) sur la réponse des biomarqueurs et du manque de données scientifiques sur les effets de ces facteurs (Hinck, *comm. pers.*). On notera toutefois que pour certains biomarqueurs (e.g. AChE, MT, EROD), il existe de nombreuses données sur les sources de variabilité naturelle de ces paramètres chez diverses espèces sentinelles (Hagger et al., 2006). Dans ce contexte, le réseau BEST-LRMN représente toutefois un terrain expérimental de choix pour appréhender l'influence des facteurs environnementaux sur la réponse des marqueurs utilisables pour la surveillance des milieux.

---

<sup>3</sup> Plusieurs espèces de poissons sont utilisées dans le cadre du réseau BEST-LRMN, les deux principales étant la carpe commune et le Black-Bass.

**Tableau 2. Présentation des biomarqueurs utilisés pour évaluer l'état de santé et le statut toxicologique des poissons dans des réseaux de surveillance de l'environnement.**

Biomarqueur	Programme*	Description	Contaminants détectés
Activité EROD	J, M, B, N	Enzyme de biotransformation induite par les hydrocarbures planaires	PCBs, HAPs et composés similaires à la dioxine
Activité acétylcholinestérase (AChE)	J	Enzyme impliquée dans la transmission nerveuse	Organophosphates, carbamates et molécules similaires
Vitellogénine (VTG)	J, B, N	Précurseur des réserves nutritives de l'oeuf normalement synthétisé par la femelle	Perturbateurs endocriniens oestrogéno-mimétiques
Métallothionéine (MT)	J, M, N	Piégeur de métaux, protection contre le stress oxydant	Métaux lourds et inducteurs de stress oxydant
Amino-levulinic acid deshydratase (ALAD)	J	Enzyme impliquée dans le métabolisme des acides aminés	Plomb majoritairement
Stabilité des lysosomes	J	Les lysosomes jouent un rôle dans les lésions du foie causées par les xénobiotiques	Marqueur général de santé
Dommages à l'ADN	J, M, N	Altération de la structure de l'ADN	Composés génotoxiques (HAPs et autres molécules organiques de synthèse)
Activité du lysozyme	B	Facteur de résistance à la maladie	Marqueur général de santé
Analyse de l'agrégation des macrophages	B	Première ligne de défense du système immunitaire	Contaminants multiples (HAPs, métaux)

\* B : Programme BEST

J : Programme JAMP de la convention OSPAR

M : Programme MEDPOL du programme environnement des Nations Unies

N : National Marine Monitoring Programme of Sweden.

Plusieurs marqueurs biochimiques ont également été utilisés en milieu marin dans le programme JAMP (Joint Assessment and Monitoring Programme) développé dans le cadre de la convention OSPAR<sup>4</sup> et dans le programme MEDPOL proposé dans le cadre du Programme Environnement des Nations Unies<sup>5</sup> (Tableau 2). Ces deux programmes ont permis d'acquérir un large jeu de données couvrant une large zone géographique et incluant le suivi dans l'espace et dans le temps de différents biomarqueurs mesurés chez le poisson. Ils ont également mis en avant la nécessité d'encadrer les programmes de biosurveillance par des programmes d'assurance qualité et par des exercices d'intercalibration permettant d'assurer la validité des résultats recueillis. Dans ce contexte, le projet BEQUALM<sup>6</sup> a été financé par l'Europe afin d'harmoniser la qualité analytique des données biologiques grâce à des exercices d'intercomparaison des méthodes et de proposer des marqueurs utilisables de manière robuste. De plus, dans le cadre des programmes de la convention OSPAR, il a été montré la nécessité d'appuyer la surveillance de la qualité des milieux aquatiques sur une approche spatio-temporelle intégrée qui combine des analyses chimiques et le suivi des effets biologiques à différents niveaux d'organisation, aussi bien dans l'eau, dans le sédiment que dans les organismes (Hylland, 2008).

En Suède, le NMMP (National Marine Monitoring Programme) intègre, depuis 1992, la mesure de différents biomarqueurs chez deux espèces de poissons : la perche et la loquette d'Europe, afin de suivre à long terme les effets de la contamination sur les organismes (Sandström et al., 2005). Parmi les biomarqueurs mesurés figurent l'activité EROD, les métallothionéines, les adduits à l'ADN, la teneur en vitellogénine mais également des enzymes liées au stress oxydant (e.g. glutathion réductase, catalase). La mesure de ces biomarqueurs vient compléter des dosages de contaminants organiques et métalliques dans les poissons ainsi que l'étude des populations et de la communauté de poissons.

Ces différentes expériences mettent en avant la faisabilité d'une approche multi-biomarqueurs, à grande échelle, chez le poisson et l'intérêt d'une telle approche pour la caractérisation écotoxicologique des milieux aquatiques. Elles soulignent la pertinence de certains biomarqueurs tels que l'activité EROD, la teneur en vitellogénine et l'activité AChE dans le cadre d'une activité de biosurveillance et par la même posent la question du choix des paramètres à mesurer. Ces différents programmes pointent également la difficulté d'interprétation des données biomarqueurs en lien avec leur variabilité naturelle et par la même le besoin de recherche afin de combler cette lacune.

---

<sup>4</sup> Convention d'Oslo et de Paris pour la protection de l'environnement marin en Atlantique du Nord-Est.

<sup>5</sup> Programme pour la surveillance et le contrôle de la pollution en Méditerranée.

<sup>6</sup> Biological Effects Quality Assurance in Monitoring Programs



## 5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les programmes nationaux et européens menés sur la thématique des biomarqueurs et de la biosurveillance témoignent d'un important effort de recherche pour développer et valider des biomarqueurs permettant la caractérisation de la contamination des milieux et de ses effets sur les organismes, mais également pour proposer des approches de biosurveillance intégratives combinant les biomarqueurs à d'autres approches conventionnelles ou émergentes. Ces travaux de recherche ont indéniablement contribué à l'intégration de biomarqueurs bien caractérisés comme par exemple la vitellogénine, mais également l'activité EROD, les métallothionéines ou encore l'acétylcholinestérase dans des programmes de recherche visant à dresser un état des lieux de la contamination de l'environnement aquatique. Force est toutefois de constater qu'il n'existe que peu de réseaux de surveillance de l'environnement qui intègrent les biomarqueurs et le réseau américain BEST-LRMN demeure le seul exemple en milieu continental.

Cette carence peut en partie s'expliquer par la difficulté d'interprétation des résultats fournis par les biomarqueurs par les gestionnaires de l'environnement et par le manque de standardisation des méthodes pour la mise en œuvre de ces outils à large échelle. Afin de combler ces lacunes, plusieurs axes de travail peuvent être proposés avec :

- L'accroissement des connaissances autour de biomarqueurs ayant émergé plus récemment en écotoxicologie comme par exemple les marqueurs de génotoxicité et d'immunotoxicité mais aussi les marqueurs liés à la bioénergétique, au comportement ou à la diversité génétique. Ce travail devrait alors permettre de proposer de nouveaux outils utilisables en routine dans des programmes de surveillance de l'environnement.
- L'accroissement des connaissances sur les effets des facteurs biotiques et abiotiques sur les niveaux physiologiques des biomarqueurs et leur réponse. Ce travail devrait à terme permettre d'établir des valeurs normales pour les biomarqueurs et contribuer ainsi à une meilleure interprétation des résultats sur les sites étudiés.
- Le développement et la validation d'outils d'interprétation des données compatibles avec les exigences de la Directive Cadre sur l'Eau et les besoins des gestionnaires. Ce travail s'inscrit alors dans la continuité des actions élaborées dans le cadre de programmes nationaux et européens tels que FULLMONTI et BEEP.
- La mise en place d'un système de validation des biomarqueurs s'appuyant sur des exercices d'inter-comparaison et d'un processus d'assurance qualité. Ces dispositifs existent en milieu marin dans le cadre des programmes JAMP et MEDPOL et contribuent indéniablement à l'application des biomarqueurs sur des zones géographiques étendues. Aussi, la mise en place de tels dispositifs en milieu continental permettrait une application rigoureuse des biomarqueurs à l'échelle nationale ou européenne.

Bien évidemment, ces axes de recherche appliquée ne doivent pas être dissociés d'une activité de recherche plus fondamentale visant à mettre en évidence de nouveaux biomarqueurs susceptibles de répondre aux défis de l'écotoxicologie tels que la prise en compte des substances émergentes ou le besoin de prédictivité.

Malgré ces axes de recherche qui restent encore à développer, les biomarqueurs sont d'ores et déjà des outils applicables pour la surveillance des milieux aquatiques. Ces outils peuvent intégrer une approche de type « poids des évidences » combinant analyses chimiques dans le milieu et dans le biote, des mesures biochimiques, des analyses histopathologiques et des études sur les populations et les communautés à l'image des recommandations issues du programme ECOMAN. Un tel type d'approche pourrait être mis en œuvre dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau<sup>7</sup> selon deux axes :

- Dans le cadre du contrôle d'enquête afin de prendre en considération les effets éventuels de la contamination sur les organismes, d'orienter des analyses chimiques complémentaires et donc de permettre une meilleure caractérisation du risque lié à la zone considérée.

- Lorsque les analyses chimiques ne mettent pas en évidence de dégradation de la qualité chimique du milieu, qu'il y ait ou non une dégradation de la qualité écologique des cours d'eau. Une telle approche pourrait alors permettre d'orienter d'éventuelles analyses chimiques complémentaires afin d'identifier une contamination potentielle par des polluants non recherchés en première intention. Elle serait particulièrement pertinente en utilisant des biomarqueurs spécifiques comme c'est le cas pour les perturbateurs endocriniens où la recherche de composés spécifiques pourrait être entreprise suite à la détection, chez les poissons, d'induction de vitellogénine pour les œstrogènes et/ou de spiggin pour les androgènes.

Une telle démarche permettrait la caractérisation de l'état écotoxicologique des masses d'eau mais également la formalisation d'un lien entre état chimique et état écologique permettant ainsi d'envisager l'optimisation des programmes de mesures par une meilleure connaissance de la contamination et de ses effets.

---

<sup>7</sup> Cette stratégie permettrait de bénéficier des prélèvements effectués sur ces réseaux et ainsi de diminuer le coût de l'introduction des biomarqueurs dans les réseaux de biosurveillance.

## **6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

Allen Y, Balaam J, Bamber S, Bates H, Best G, et al. 2002. Final report : Endocrine Disruption in the Marine Environment (EDMAR).

Bauch NJ, Schmitt CJ, Crawford CG. 2005. Development of an approach for integrating components of the U.S. Geological Survey Biomonitoring of Environmental Status and Trends (BEST) and National Stream Quality Accounting Network (NASQAN) programs for large U.S. rivers, U.S. Geological Survey, Columbia Environmental Research Center, Columbia (MO).

Depledge MH 1993. In: MC Fossi, C Leonzio (Editors), Nondestructive biomarkers in vertebrates, Lewis Publisher, Boca Raton, FL, USA, pp. 261-285.

Flammarion P, Devaux A, Nehls S, Migeon B, Noury P, Garric J. 2002. Multibiomarker responses in fish from the Moselle river (France). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 51: 145-153.

Galloway TS, Brown RJ, Browne MA, Dissanayake A, Lowe D, Jones MB, Depledge MH. 2004a. A multibiomarker approach to environmental assessment. *Environmental Science and Technology* 38: 1723-1731.

Galloway TS, Brown RJ, Browne MA, Dissanayake A, Lowe D, Jones MB, Depledge MH. 2004b. Ecosystem management bioindicators : the ECOMAN project - a multi-biomarker approach to ecosystem management. *Marine Environmental Research* 58: 233-237.

Hagger JA, Jones MB, Leonard P, Owen R, Galloway TS. 2006. Biomarkers and integrated risk assessment: Are there more questions than answers? *Integrated Environmental Assessment and Management* 2: 312-329.

Hinck JE, Blazer VS, Denslow ND, Echols KR, Gale RW, et al. 2008. Chemical contaminants, health indicators, and reproductive biomarker responses in fish from rivers in the Southeastern United States. *Science of The Total Environment* 390: 538-557.

Hinck JE, Blazer VS, Denslow ND, Echols KR, Gross TS, et al. 2007. Chemical contaminants, health indicators, and reproductive biomarker responses in fish from the Colorado River and its tributaries. *Science of The Total Environment* 378: 376-402.

Hinck JE, Schmitt CJ, Blazer VS, Denslow ND, Bartish TM, et al. 2006. Environmental contaminants and biomarker responses in fish from the Columbia River and its tributaries: Spatial and temporal trends. *Science of The Total Environment* 366: 549-578.

Hylland K. 2008. Integrated chemical and biological monitoring of the marine environment - the OSPAR approach. NORMAN Workshop, Lyon, March 2008.

Lagadic L, Caquet T, Amiard JC. 1997. Biomarqueurs en écotoxicologie : principes et définitions. In : Biomarqueurs en écotoxicologie : aspects fondamentaux, ed. L Lagadic, T Caquet, JC Amiard, F Ramade, pp. 241-85. Londres, Paris, New York: Masson.

Sanchez W, Katsiadaki I, Piccini B, Ditché J-M, Porcher J-M. 2008. Biomarker responses in wild three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus* L.) as a useful tool for freshwater biomonitoring: A multiparametric approach. *Environment International* 34: 490-498.

Schmitt CJ, Ellen Hinck J, Blazer VS, Denslow ND, Dethloff GM, et al. 2005. Environmental contaminants and biomarker responses in fish from the Rio Grande and its U.S. tributaries: Spatial and temporal trends. *Science of The Total Environment* 350: 161-193.

Sandström O, Larsson A, Andersson J, Appelberg M, Bignert A, Förlin L, Olsson M. 2005. Three decades of Swedish experience demonstrates the need for integrated long-term monitoring of fish in marine coastal areas. *Water Quality Research Journal of Canada* 40: 233-250.

Tarant H, Llewellyn N, Lyons A, Tattersall N, Wylde S, Mouzakis G, Maloney M, McKenzie C. 2005. Endocrine disruption in the Irish aquatic environment - Final report. Environmental Protection Agency, Wexford, Ireland.

Van der Oost R, Beyerb J, Vermeulen N. 2003. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 13: 57-149.

Vasseur P, Cossu-Leguille C. 2003. Biomarkers and community indices as complementary tools for environmental safety. *Environment International* 28: 711-717.

Vethaak AD, Lahr J, Schrap SM, Belfroid AC, Rijs GBJ, et al. 2005. An integrated assessment of estrogenic contamination and biological effects in the aquatic environment of The Netherlands. *Chemosphere* 59: 511-524.