



FONDATION
ROVALTAIN
SCIENCE & ÉQUILIBRE

Base de données Nationale des biomarqueurs pour la Biosurveillance Aquatique

Guide pratique 2020

Introduction/Préambule :

Biomarqueur, définition :

Un biomarqueur est « *un changement biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental qui peut être mesuré dans les tissus ou des fluides corporels ou au niveau de l'organisme entier qui met en évidence l'exposition à, ou les effets, d'un ou plusieurs contaminants* » (Depledge, 1994).



Origine du travail :

La directive-cadre européenne sur l'eau (DCE; 2000/60/CE) (article 4 de la DCE) inclue l'objectif d'atteindre et de garantir un « bon état écologique et chimique » de toutes les masses d'eau à travers l'Europe grâce à la mise à jour et à la mise en œuvre de plans de gestion au niveau du bassin versant.

Basée sur l'analyse de l'état chimique (45 molécules) et de l'état écologique des masses d'eau, la DCE est aujourd'hui incomplète et ne prend pas en compte l'état biologique et physiologique des espèces animales et végétales présentes au sein de l'écosystème aquatique.

Afin d'évaluer les manques essentiels de cette directive, et de compléter les réglementations mises en place, un premier consortium européen composé de 48 spécialistes internationaux s'est réuni en 2014, sous la coupe de la commission Européenne.

De ce rapport technique¹, également publié dans *Environnemental Science Europe* (Wernersson *et al.*, 2015²); sont sorties des recommandations d'utilisation de méthodes innovantes de surveillance biologique, complémentaires à l'analyse chimique, appelées « Effect-based Methods » (EBMs), ou méthodes basées sur les effets. Ces EBMs, qui regroupent les bioessais et les biomarqueurs, sont proposées en remplacement des analyses chimiques sous certaines conditions (réduction des coûts) et, en accompagnement des analyses chimiques et écologiques par ailleurs.

Source d'exemples pratiques de mise en place de surveillance des masses d'eau européenne à l'aide des EBMs, ce rapport évalue également l'intérêt et l'importance de l'utilisation de ces EBMs ainsi que les cadres d'études appropriés à leurs déploiements :

Intérêts :

- Détecter précocement un déséquilibre biologique ;
- Faire le lien entre les informations écologiques et chimiques ;
- Lier la concentration à l'exposition et aux effets ;
- Alerter précocement sur des changements de la qualité de l'eau au sein de sites cruciaux ;
- Détecter et évaluer les polluants importants pour mettre à jour les évaluations des risques ;
- Détecter les effets biologiques néfastes pour indiquer où une surveillance opérationnelle ou d'enquête est nécessaire.



¹ (<https://circabc.europa.eu/sd/a/0d78bbf7-76f0-43c1-8af2-6230436d759d/Effectbased%20tools%20CMEP%20report%20main%2028%20April%202014.pdf>)

² <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-015-0039-4>

Cadres d'étude appropriés au déploiement des EBM :

- En tant qu'outils de dépistage, dans le cadre de l'évaluation des pressions et des impacts pour aider dans le choix des masses d'eau à hiérarchiser ;
- Dans la mise en place d'alertes précoces, pour donner la priorité aux études complémentaires dans les domaines qui ne sont pas considérés comme étant à risque car ils sont situés loin des sources connues ;
- Identifier les effets de mélanges de polluants ou de produits chimiques non analysés (par exemple pour soutenir le suivi des enquêtes lorsque les causes d'un déclin d'espèces spécifiques sont inconnues) ;
- Fournir un soutien supplémentaire dans l'évaluation de la qualité de l'eau et des sédiments.

Récemment reprises, complétées, testées sur le terrain (Neale PA *et al.* (2015) ; (2017) ; Muz M *et al.* (2017) ; König M *et al.* (2017)), et synthétisées dans une publication récente du projet de recherche collaboratif européen SOLUTIONS, sous le titre « **Effect-based methods are key** », l'utilisation de ces méthodes basées sur les effets s'imposent dorénavant comme des outils essentiels dans l'étude du bon état général des masses d'eau (Brack et al., 2019). En France, il existe plusieurs exemples de déploiement de ces EBM. Parmi eux, le projet ECOTONE (2013-2017 : « Effets de la Contamination sur les Organismes de l'Estuaire de la Seine ») a permis l'application d'outils d'évaluation des effets d'une multi-contamination au niveau de l'estuaire de la Seine. Ainsi, 82 couples espèce/biomarqueur ont été utilisées, montrant des signaux de perturbation chez les espèces étudiées.

Afin d'accompagner les initiatives basées sur l'utilisation des EBM, le présent guide et la base de données BMK associée présentent un état des lieux, non exhaustif, mais substantiel, des couples espèce/biomarqueur disponibles et utilisables sur le territoire français dans les différentes masses d'eau, i.e. milieu continental, de transition/côtier, côtier et marin/estuarien. Le choix méthodologique du couplage associant espèces et biomarqueurs a permis de garantir un certain degré de maturité opérationnelle pour les outils proposés.

Sont référencés dans cette base de données 50 espèces et 78 biomarqueurs qui sont présentés ci-après de façon découpé à titre informatif.

Sont référencés dans cette base de données 50 espèces différentes au total : des **invertébrés**, des **poissons** et des **oiseaux**

50 espèces totales			
<i>Gammarus fossarum</i>	<i>Mytilus edulis</i>	<i>Dicentrarchus labrax</i>	<i>Phoxinus phoxinus</i>
<i>Eurytemora affinis</i>	<i>Palaemon longirostris</i>	<i>Leuciscus cephalus</i>	<i>Thalassoica antarctica</i>
<i>Corbicula fluminea</i>	<i>Palaemon serratus</i>	<i>Gobius niger</i>	<i>Stercorarius antarcticus</i>
<i>Crassostrea gigas</i>	<i>Penaeus japonicus</i>	<i>Gobio gobio</i>	<i>Rissa tridactyla</i>
<i>Gammarus pulex</i>	<i>Schmidtea polychroa</i>	<i>Cyprinus carpio</i>	<i>Diomedea exulans</i>
<i>Dreissena polymorpha</i>	<i>Radix balthica</i>	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	<i>Stercorarius maccormicki</i>
<i>Dreissena rostriformis bugensis</i>	<i>Scrobicularia plana</i>	<i>Zosterisessor ophiocephalus</i>	<i>Larus argentatus</i>
<i>Haliotis tuberculata</i>	<i>Platichthys flesus</i>	<i>Cottus gobio</i>	<i>Aptenodytes patagonicus</i>
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	<i>Sarotherodon melanothron</i>	<i>Oryzias latipes</i>	<i>Larus fuscus</i>
<i>Hediste diversicolor</i>	<i>Rutilus rutilus</i>	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	<i>Alle alle</i>
<i>Homarus gammarus</i>	<i>Salmo trutta</i>	<i>Salvelinus fontinalis</i>	<i>Larus marinus</i>
<i>Lymnea stagnalis</i>	<i>Squalius cephalus</i>	<i>Solea solea</i>	
<i>Mimachlamys varia</i>	<i>Limanda limanda</i>	<i>Perca fluviatilis</i>	



78 biomarqueurs au total			
AchE (Acétylcholinestérase)	Distribution leucocytaire	LDH (Lactate Deshydrogénase)	Phosphatase acide
Acide Phosphatase	Electron transport system	Lipase	Phosphatase alcaline
Activité MXR (MultiXenobiotic Resistance)	EROD (7-Ethoxyrésorufine- o-dééthylase)	Lipides neutres (histochimie)	Pression osmotique sg (sanguine)
Aggrégation hémocytaire	Flambée oxydative	Lipofuscines (histochimie)	Prolactine
Amylase	GPx (Glutathion Peroxydase)	Maturation ovocytaire	Protéines carbonylées
Avidité hémocytaire	GR (Glutathion Reductase)	Métabolisme hémocytaire	Réserves énergétiques
Capacité Antioxydante Totale	GSH (Glutathion Réduit)	Métabolomique	Scope For Growth
Carboxyestérase	GSHt (Glutathion Réduit total)	Metabolomique du foie	SOD (Super Oxyde Dismutase)
Caspase	GST (Glutathion S- Transferase)	MT (Metallothioneines)	Spiggin
Catalase	Histologie	Micronoyaux	Stabilité lysosomale
Catalase (histochimie)	Histologie hépatique	Mortalité cellulaire	Taux d'alimentation
Chaine de transport d'électrons mitochondriale	Histopathologie hépatique	Mortalité hémocytaire	Taux d'éclosion
Changement structuraux du système lysosomal (histochimie)	Hormones thyroïdiennes (TT3 et TT4)	Mortalité leucocytaire	Tbars (Thiobarbituric acid reactive substances)
Cholinestérase	Indice de Condition	Mue	Test des micronoyaux
Comet	Indice de maturité sexuelle (quantité d'ADN présent dans cellule germinale male)	Nombre de cocons pondus et nombre de juvéniles par cocons	Transaminase
Comet sur larve	Indices morphométriques	Ovotestis	Transcriptomique
Comet sur sang	Intégrité ADN	Peroxydation lipidique	Triglycerides
Comet sur spermatozoïde	Intersexualité	Phagocytose	Trypsine
Corticosterone	Laccase	Phénoloxydase	Viabilité hémocytaire

Cyp3a (Cytochrome P450 3A)			VTG (Vitellogénine)
----------------------------	--	--	---------------------



15 laboratoires			
BOREA	LEMAR	MARBEC	SEBIO
EPOC	LIEC	MCAM	TOXEM
GEODE	LIENSs	MMS	LEX
HSM	LOG	RIVERLY	

Sont référencés dans cette base de données : 331 couples espèce/biomarqueur. Il est important de préciser que ces couples ont une utilité fonctionnelle (à des degrés de maturité différente) et qu'il n'y a pas d'homogénéité des biomarqueurs disponibles entre les différentes espèces.

Les EBM, définition :

Les EBM sont constitués des Bioessais et des Biomarqueurs.

Les cadres de références définissant les bioessais et les biomarqueurs évoluent rapidement.

Dans le cadre de ce travail, nous avons donc conservé pour chacun, la définition usuelle de la commission européenne et des rapports associés :

- Les **bioessais** sont des test biologiques, *in vitro* et *in vivo*, qui mesurent la toxicité d'échantillons environnementaux (exemple : eau, sédiments...), dans des conditions définies.
- Les **biomarqueurs**, sont les réponses biologiques au niveau individuel ou à des niveaux organisationnels inférieurs, mesurées *in situ* sur des organismes directement exposés dans le milieu.

NB : La base de données française BMK fournit ici ne s'applique qu'au référencement des biomarqueurs opérationnels, c'est-à-dire des biomarqueurs mesurés sur les espèces de terrains. Un groupe de travail complémentaire, rassemblé en parallèle par l'OFB, complètera ce travail, avec une liste des bioessais disponibles.

Base de données BMK, pour la biosurveillance aquatique, mode d'emploi :

En complément des analyses chimiques et écologiques, les biomarqueurs sont de véritables outils de détermination de l'état de santé des espèces aquatiques, à la fois pour la surveillance générale, et lors d'un incident isolé de pollution. Ce sont des marqueurs précoces d'une exposition à un ou plusieurs contaminants et des effets de ces derniers sur la santé d'un organisme, ou dans certains cas d'une population (par exemple, lorsque les biomarqueurs sont des traits d'histoire de vie ou dans le cas d'une perturbation endocrinienne).

La base de données BMK fournit une liste de couples espèce/biomarqueur classés par rangs d'utilisation en fonction de **quatre cadres d'études** des masses d'eau. Cette base de donnée recense plus de 78 biomarqueurs et 331 couples espèce/biomarqueur, et fait un premier inventaire (non exhaustif) des biomarqueurs aquatiques utilisables et disponibles en France (cf annexe 1).

Les couples espèce/biomarqueur recensés apparaissent classés par ordre de pertinence et de maturité opérationnelle évaluée en partie sur la base de 10 critères fondamentaux de sélections (cf annexe 2) applicables aux quatre cadres d'études exposé ci-dessous :

- Surveillance générale : La surveillance générale vise à concevoir des réseaux de surveillance et programmes de surveillance. L'objectif est d'évaluer la contamination et/ou la toxicité des masses d'eau de surface représentatives d'un bassin hydrographique et d'estimer les tendances à long terme de cette contamination.
- Qualité du rejet : Il s'agit d'évaluer le risque occasionné par un rejet sur le milieu récepteur et non l'évaluation directe de son impact. L'objectif est de classer (hiérarchiser) les rejets selon leur potentiel écotoxique et par conséquent le danger potentiel pour le milieu.
- Impact du rejet sur le milieu : il s'agit d'identifier la dégradation des milieux par un rejet spécifique. L'objectif est mettre en évidence la dégradation chimique et toxique d'un milieu aquatique soumis à des pressions significatives (rejets urbain et industriel) et le rôle possible du rejet sur la dégradation de l'état de la masse d'eau associée au site d'étude.
- Diagnostic control enquête : L'objectif est d'identifier les causes de la dégradation du milieu (physique, chimique, trophique ...) dans le cadre d'une démarche d'investigation environnementale. Ceci afin de pouvoir proposer des solutions adéquates, i.e. programmes de mesures permettant de restaurer l'état des milieux dégradés.

La Base de données BMK détaille : les informations sur la source technique de ces biomarqueurs, la présence ou non de valeurs seuils (valeur au-delà de laquelle on considère qu'il y a une perturbation du paramètre mesuré par rapport à son état de base), la facilité d'utilisation (disponibilité de l'espèce, rapidité d'acquisition de la méthode et des données ...), etc ... afin de permettre à l'utilisateur de sélectionner au mieux les couples d'intérêt.

Le présent guide a pour intention, en complément de la Base de Données, de vous accompagner dans le choix des biomarqueurs les plus pertinents, en fonction de vos besoins et de votre objet d'étude.

Utilisation brute de la base de données :

- Choisissez votre « cadre d'étude » en utilisant le menu déroulant D2
- Les couples espèce/biomarqueur apparaissent par ordre de pertinence
- Le menu déroulant « Milieu », colonne 3E, vous permet de sélectionner le milieu d'étude recherché (Marin, Continental, Côtier, de Transition).
- La liste des couples espèce/biomarqueur est alors disponible.

Les 10 critères renseignés (pour plus d'information cf annexe 2) :

- Critère 1 : Existence d'une relation Dose/réponse ;
- Critère 2 : Robustesse, caractérisation des facteurs confondants (si nécessaire) ;
- Critère 3 : Conséquences connues sur les niveaux d'organisation supérieurs ;
- Critère 4 : Existence de littérature en lien avec le biomarqueur (Norme, Publication, Rapport, Autre) ;
- Critère 5 : Connaissance, ou non, de la valeur seuil ;
- Critère 6 : Echelle d'application ;
- Critère 7 : Facilité d'utilisation de l'organisme ;
- Critère 8 : Ethique ;
- Critère 9 : Facilité et temps d'acquisition des données ;
- Critère 10 : Matériel et niveau technique requis.

Choix des biomarqueurs :

Les critères de choix des biomarqueurs sont laissés à la discrétion de l'utilisateur. Les ingénieurs, règlementaires et tout autre utilisateur sont les seuls habilités à exercer le choix final de par leur connaissance du milieu à appréhender, de la question posée, de leur expérience, et de toutes autres considérations ou contraintes, inhérentes à leur environnement et à leur institution.

Les informations suivantes ne sont pas des recommandations mais un fil directeur dans le choix de ces biomarqueurs et ont été désignés dans un but d'accompagnement et d'aide à la décision.

Choix des biomarqueurs selon la méthode passive ou active ?

Les biomarqueurs listés dans la présente base de données BMK peuvent être mesurés sur des espèces prélevées *in situ* (méthode passive) ou ayant préalablement été transplantées dans le milieu (méthode active) : ces deux approches, passive ou active, vous sont présentées ci-dessous avec leurs avantages et leurs inconvénients :

Passifs : La biosurveillance est dite passive dans le cas où l'espèce choisie est déjà présente dans le milieu aquatique (autochtone). Cette méthode est la plus classique des deux et la plus couramment utilisée. Les espèces sont prélevées *in situ*. Les principaux avantages sont l'obtention d'une mesure de l'état physiologique de l'espèce au sein du milieu observé au temps T, la possibilité d'un suivi des espèces sur le long terme et la détection précoce d'un changement dans l'état physiologique des espèces du cours d'eau.

L'un des inconvénient principal de cette méthode, est la variabilité, due à de nombreux facteurs qu'on dit confondants (c'est-à-dire, l'ensemble des facteurs, biotiques ou abiotiques qui peuvent interférer *in fine* avec la réponse biologique mesurée). Ainsi, des changements physiologiques liés aux variations normales de l'écosystème peuvent apparaître, rendant plus difficile la lecture de l'effet sur le long terme. Il est recommandé de sélectionner dans ce cas au moins un couple espèce/biomarqueur disposant d'une valeur seuil bien définie (**Critère n°5**).

Actifs : La biosurveillance est dite active lorsque les organismes sont transplantés et encagés dans le milieu, c'est-à-dire que les espèces proposées ne sont pas forcément des espèces autochtones, et que l'effet de la masse d'eau étudiée sera analysé sur ces espèces élevées la plupart du temps en laboratoire et encagées au sein du milieu aquatique (Alric et al., 2019). Il s'agit par exemple du Gammare (*Gammarus Fossarum*). L'intérêt de l'utilisation des espèces encagées est que leur état physiologique initial est maîtrisé et contrôlé, évitant ainsi la variabilité inhérente aux espèces biologiques autochtones déjà présentes dans la masse d'eau, et minimisant ainsi les facteurs confondants. Attention, les espèces invasives ou exotiques ne peuvent pas être utilisées dans le cadre d'une surveillance active.

Par ailleurs, la biosurveillance active a pour avantage d'améliorer les comparaisons spatiales et temporelles des niveaux de contaminations. C'est notamment le cas pour étudier les effets d'une pollution, avec le positionnement en amont et en aval de la source de pollution des espèces encagées. Pour une surveillance générale, ces espèces peuvent être utilisées plusieurs fois par an, afin de vérifier le bon état écologique du cours d'eau. L'inconvénient de ces méthodes dites actives est que l'état physiologique des espèces constituant le cours d'eau n'est pas contrôlé, il s'agit de renseignements sur la qualité « écotoxicologique » de l'eau mais ne correspond pas à un suivi de l'état des espèces autochtones. (Pour en savoir plus : Ciliberti et al., 2017 ; Alric et al., 2019).

Sélection par voies métaboliques et grandes fonctions physiologiques affectées :

Les biomarqueurs sont regroupés par effet néfaste au sein de quatre niveaux biologiques : Moléculaire, Cellulaire, Organique, Individuel (qui affecte l'individu en entier). Au sein de ces grandes classes d'effet, les biomarqueurs révèlent une toxicité métabolique spécifique au niveau nucléaire, immunologique, hormonale, neuroendocrine, etc.

De même, tous les biomarqueurs ne sont pas reliés à de grandes fonctions, cependant, certains ont un effet direct reconnu sur la reproduction, le comportement ou encore le système immunitaire.

Le tableau ci-dessous décrit les effets spécifiques et les différentes voies physiologiques affectées, révélées par les différents biomarqueurs.

Grands mécanismes d'action	Biomarqueurs	Effets néfastes potentiels / Grandes fonctions
Génotoxicité	Comet / intégrité à l'ADN / micronoyaux	Reproduction / Immunité / Homéostasie / Gestion de l'énergie
Immunotoxicité	aggrégation hémostaïque / avidité hémostaïque / mortalité hémostaïque / viabilité hémostaïque / motilité hémostaïque / distribution leucocytaire / mortalité leucocytaire laccase phénoloxydase transaminases phagocytose	Système immunitaire
Neurotoxicité	AchE, peroxydation lipidique	Comportement / Locomotion
Perturbation endocrinienne	Corticostérone / hormones thyroïdiennes (TT3 et TT4) / prolactine spiggin / VTG maturation ovocytaire ovotestis / intersexualité nombre de cocons pondus et nombre de juvéniles par cocons	Reproduction / Comportement

(suite) Grands mécanismes d'actions	Biomarqueurs	Effets néfastes potentiels / Grandes fonctions
Perturbation métabolique / métabolisme énergétique	acide phosphatase amylase histologie hépatique LDH lipase métabolisme hémocytaire métabolomique du foie phosphatase acide / phosphatase alcaline réserves énergétiques SFG (Scope For Growth) stabilité lysosomale système de transport des électrons trypsine	Gestion de l'énergie
Stress Oxydant	capacité antioxydante totale / flambée oxydative catalase / EROD GPx / GR / GSht / GST / SOD / Tbars péroxidation lipidique phénoloxydase protéines carbonylées	Homéostasie
Autre	Mue Taux d'alimentation Capacité d'osmorégulation Métabolisme des xénobiotiques : Activités MXR / CYP3A / MT	

Certains polluants ou substances toxiques ont des effets reconnus sur certaines voies métaboliques. De même, dans le cadre d'une surveillance générale, le choix du couple espèce/biomarqueur pourra se faire également, en vertu d'une volonté de mesurer les effets néfastes d'un ou plusieurs polluants sur une fonction biologique spécifique, e.g. le système immunitaire.

Facile...ou pas ?

Le choix des biomarqueurs à sélectionner peut se baser également sur des critères de facilité d'apprentissage et/ou d'utilisation. La logistique nécessaire à l'utilisation des biomarqueurs (difficulté technique du protocole, matériel nécessaire ...) est présentée **critère 10**, ainsi que le délai d'analyse et d'obtention des résultats (**critère 9**). L'utilisateur pourra également se baser sur la facilité d'obtention des espèces (**critère 7**).

Et l'éthique dans tout ça ?

L'utilisation de l'espèce a-t-elle fait l'objet d'une soumission au comité d'éthique ?

Tout travail de recherche sur les espèces animales fait normalement l'objet d'une soumission préalable au comité éthique. Pour les espèces aquatiques, qui sont la plupart du temps des espèces de consommation ou de petits invertébrés, cette soumission n'est pas obligatoire. Dans le cas des vertébrés aquatiques, référez-vous au **critère numéro 8**, afin de vérifier que l'espèce que vous avez choisie a fait l'objet d'une autorisation préalable.

Une question d'échelle :

Petit cours d'eau ?, Grande masse d'eau ? ...

Attention, pour les études sur masse d'eau continentale principalement, certains couples espèce/biomarqueur ne seront pas adaptés au petit cours d'eau. Pour en savoir plus, référez-vous au **critère n°6**.

Conclusions

Le projet B&B a permis de faire émerger la base de données BMK recensant les couples espèce/biomarqueur disponibles en France pour la biosurveillance aquatique. C'est le premier outil d'aide à la décision de cette envergure développé en France.

L'objectif principal de ce guide est de fournir à l'utilisateur une grille de lecture de la base de données BMK, en donnant des clefs de compréhension sur les différents critères permettant d'aboutir au choix d'un ou de plusieurs couples espèce/biomarqueur selon le contexte général de l'étude.

Ce guide pratique s'intègre donc parfaitement dans l'utilisation de méthodes innovantes de surveillance complémentaires à l'analyse chimique (« Effect-based Methods » (EBMs)).

Bibliographie

Alric B., Geffard O., et al. Multisubstance Indicators Based on Caged Gammarus Bioaccumulation Reveal the Influence of Chemical Contamination on Stream Macroinvertebrate Abundances across France. *Environmental Science & Technology* 53 (10), 5906-5915 (2019)

Brack, W., Aissa, S.A., Backhaus, T. *et al.* Effect-based methods are key. The European Collaborative Project SOLUTIONS recommends integrating effect-based methods for diagnosis and monitoring of water quality. *Environ Sci Eur* **31**, 10 (2019)

Ciliberti A., Chaumot A. et al. Caged Gammarus as biomonitors identifying thresholds of toxic metal bioavailability that affect gammarid densities at the French national scale. *Water Research* 118:131-140 (2017)

König M et al. Impact of untreated wastewater on a major European river evaluated with a combination of in vitro bioassays and chemical analysis. *Environ Pollut* 220(Pt B):1220–1230 (2017)

Muz M et al. Identification of mutagenic aromatic amines in river samples with industrial wastewater impact. *Environ Sci Technol* 51(8):4681–4688 (2017)

Neale PA et al. Linking in vitro effects and detected organic micropollutants in surface water using mixture-toxicity modeling. *Environ Sci Technol* 49(24):14614–14624 (2015)

Neale PA et al. Integrating chemical analysis and bioanalysis to evaluate the contribution of wastewater effluent on the micropollutant burden in small streams. *Sci Total Environ* 576:785–795 (2017)

Wernersson, AS., Carere, M., Maggi, C. *et al.* The European technical report on aquatic effect-based monitoring tools under the water framework directive. *Environ Sci Eur* **27**, 7 (2015)

Remerciements

Nous remercions l'ensemble des personnes ayant contribué à élaborer cette base de données, à commencer par les laboratoires nous ayant fournis les informations sur leurs couples espèce/biomarqueur, ainsi que les membres coordinateurs et les experts du groupe de travail B&B : Thomas Milinkovitch (LIENS), Emilie EGEA (Fondation Roaltain), Wilfried Sanchez (IFREMER), Christophe Minier (UMR SEBIO), Olivier Perceval (OFB), Benoit Xuereb (UMR SEBIO), Alain Geffard (UMR SEBIO), Catherine Mouneyrac (EA MMS), Olivier Geffard (INRAE), Cédric Fisson (GIP Seine-Aval) et Michel Auffret (UMR LEMAR).

Note de Fin :

La recherche sur la reproductibilité et la fiabilité de l'utilisation des biomarqueurs évolue rapidement. La base de données BMK proposée a été mise à jour en Décembre 2020.

Si un couple espèce/biomarqueur vous intéresse, n'hésitez pas à vous renseigner auprès du laboratoire d'origine (indiqué **Colonne F**), afin de connaître l'avancée des dernières recherches.

La liste des laboratoires, ainsi que les personnes responsables à contacter se trouve en annexe 1 de ce guide.

Pour toutes questions complémentaires concernant le Guide ou la base de données BMK, merci de vous adresser à :

- La Fondation Rovaltain : contact@fcsrovaltain.org
- L'Office Français pour la biodiversité : olivier.perceval@ofb.gouv.fr

Rédacteurs : Delphine Delaunay, Damien Baudiffier, Mathilde Moizo - Fondation Rovaltain

ANNEXE 1 : Liste des laboratoires

Ville	Laboratoire	Tutelle	Equipe	Contact
Brest	LEMAR (UMR6539)	IRD; CNRS; Ifremer	PANORAMA	Michel.Auffret@univ-brest.fr
Paris / Caen / Antilles françaises	BOREA (UMR 7208)	IRD; MNHN; UPMC; UNCaen	Evaluations des Biominéralisations et Adaptations aux contraintes environnementales	jean-marc.lebel@unicaen.fr
Bordeaux	EPOC (UMR5805)	CNRS; U. Bx	Ecotoxicologie Aquatique	magalie.baudrimont@u-bordeaux.fr
Verneuil en Halatte / Le Havre / Reims	SEBIO (UMR-I 02)	INERIS; U. Reims; U. Le Havre	SEBIO	alain.geffard@univ-reims.fr
Metz / Nancy	LIEC (UMR 7360)	CNRS; U. Lorraine	EDEC	laure.giamberini@univ-lorraine.fr
La Rochelle	LIENSs (UMR7266)	CNRS; U. La Rochelle	AMARE	paco.bustamante@univ-lr.fr
Lyon	RIVERLY	INRAE;	Ecotoxicologie	olivier.geffard@inrae.fr
Angers	MMS (EA 2160)	U.Nantes; UCO; U. Le Mans	ECEm	Catherine.Mouneyrac@univ-nantes.fr
Nantes	Biogéochimie et Ecotoxicologie	ifremer;	LEX	Aourell.Mauffret@ifremer.fr
Montpellier	MARBEC (UMR9190)	ifremer; CNRS; IRD; U. Montpellier	Contaminants: Devenir et réponse	emilie.farcy@umontpellier.fr
Montpellier	HSM (UMR 5569)	CNRS; IRD; U. Montpellier	ContEm	egomez@univ-montp2.fr
Paris	MCAM (UMR 7245)	CNRS; MNHN	CCE	benjamin.marie@mnhn.fr
Albi	GEODE (UMR 5602)	CNRS; U. Toulouse Jean Jaures		florence.geret@univ-jfc.fr
Lille	LOG (UMR 8187)	CNRS; ULCO	Diversité, processus et interactions dans les écosystèmes marins	sami.souissi@univ-lille1.fr
			Ecosystème, biodiversité et changements globaux	Rachid.amara@univ-littoral.fr
Montivilliers	TOXEM	Développement de biomarqueurs dans le cadre de la convention OSPAR		jerome.couteau@toxem.com

ANNEXE 2 : Les 10 critères renseignés dans la base de données

Critère 1	Relation dose / réponse	relation dose/réponse connue, profil de réponse MONOTONE (inhibition ou induction)	
		relation dose/réponse connue, profil de réponse NON MONOTONE (induction+inhibition)	
		relation dose/réponse non connue	
Critère 2	Robustesse /Caractérisation des facteurs confondants (intrinsèque et environnemental)	Effets des facteurs confondants connu et il est possible de les prendre en compte dans l'interprétation	
		Effets des facteurs confondants connu mais non pris en compte dans l'interprétation	
		pas de connaissance de l'effet des facteurs confondants	
Critère 3	Connaissance des conséquences sur les niveaux d'organisation supérieure	Ce biomarqueur a un lien connu avec un trait de vie? survie, repro, croissance, comportement	
		N'a pas de lien établi avec trait de vie	
Critère 4	Littérature en lien avec le couple espèce/biomarqueur	Norme	
		Publication	
		Rapport	
		Aucun	
Critère 5	Valeur seuil au delà de laquelle la modulation de la réponse est significative	Connue	
		Partiellement	
		Non connue	
Critère 6	Zone d'application	Cours d'eau	Petit
			Moyen
			Grand
		Eau saumâtre	
		Côtier	
		Large	
Critère 7	Facilité d'obtention de l'organisme /stock pop	Population abondante ET prélèvement aisé	
		Production en élevage disponible	
		Transplantation possible	
		Accès aux organismes difficile	
Critère 8	Question éthique	modèle non-soumis au comité d'éthique	
		modèle soumis au comité d'éthique	
Critère 9	Facilité de mise en œuvre de la technique (matériel frais/temps d'acquisition de la donnée)	Mesure à effectuer sur matériel frais	
		Fixation possible	
		Délai d'acquisition des résultats sur 100 échantillons	Jour
			Semaine
			Mois
Critère 10	Matériel et Niveau technique et expertise requise pour l'acquisition de la donnée	Faible	
		Élevé	