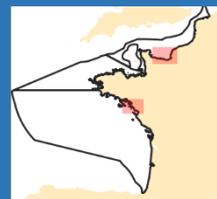


Etat de santé des bivalves - Région marine Manche-Atlantique



Descripteur D8- Contaminants

Critère D8C2 - Effets des contaminants sur les espèces et les habitats (critère secondaire d'impact)

Attributs : Toutes les espèces marines

Evaluation DCSMM BEE : cycle 3

Période d'évaluation : 2016-2021

Zones d'évaluation : France (FR) ; Région Manche Atlantique

2 Sous-Régions Marines (SRM) : « Manche-Mer du Nord & Golfe de Gascogne »

Thèmes INSPIRE « Installations de suivi environnemental »

Pays contributeurs : France, FR



Modification de la définition du BEE cycle 3

Justification du développement de l'indicateur ou du changement de méthode d'évaluation

Une première évaluation de l'indicateur « état de santé des bivalves » a été réalisée lors de l'évaluation cycle 2. Cette évaluation menée sur une zone témoin (Baie de Seine) ne permettait pas de statuer sur l'état de l'espèce de moule considérée, tel que demandé par la DCSMM. La méthode d'évaluation proposée dans la présente fiche permet de combler les lacunes identifiées au cycle précédent (Mauffret et al., 2018) :

- Besoin d'outils d'intégration et d'agrégation des différents biomarqueurs, entre eux, et avec les concentrations en contaminants.
- Besoin de suivis pérennes, extension du suivi sur d'autres zones marines : Evaluation 2018 basée sur les résultats de projets de recherche en baie de Seine, sur le flet et la limande.

Objectif de l'indicateur ou du changement de méthode d'évaluation

L'ensemble des dispositifs de surveillance D8 actuels et proposés pour intégration a pour objectif de constituer un continuum unique pour le suivi des contaminants et de leurs effets potentiels, des eaux côtières aux couches profondes de l'Océan, dans le cadre de l'évaluation du D8 de la DCSMM.

L'indicateur « Etat de santé des bivalves » qui est proposé dans la présente fiche repose sur les données collectées lors des campagnes océanographiques organisées dans le cadre du « Suivi des Effets bioLogiques Induits par la contamination chimique » (SELI) réalisé pour l'évaluation du critère D8C1 car :

- i) Les biomarqueurs utilisés lors des suivis SELI peuvent répondre à un panel plus large de contaminants que ceux ciblés dans le D8C1. Leur utilisation en surveillance permet donc d'évaluer plusieurs types d'impact de la contamination chimique.
- ii) Les biomarqueurs « SELI » peuvent aussi rendre compte des effets cocktail des contaminants et leur modulation sous l'influence des paramètres environnementaux.
- iii) La méthode d'évaluation de l'indicateur développée lors du cycle actuel permet une intégration de l'ensemble des biomarqueurs suivis, ainsi qu'une agrégation au niveau de l'UMR.

Voir 2.2.1. Stratégie globale et justification des suivis D8C2 dans le rapport scientifique (Mauffret et al., 2023).

Description des conséquences sur la définition du BEE cycle 3

Comparaison avec la précédente évaluation

Les changements par rapport à la méthode DCSMM cycle 2 (Mauffret et al. 2018) concernent principalement :

Date de modification : 17 novembre 2023

Contacts : Nathalie Wessel, Assistante RT, Ifremer, Nantes, nathalie.wessel@ifremer.fr
 Aouell Mauffret, RT, Ifremer, Nantes, aouell.mauffret@ifremer.fr
 Mélanie Brun, Biostatisticienne, Ifremer, Nantes, melanie.brun@ifremer.fr

Contributeurs : Vincent Roubéix, cadre de recherche, Ifremer, Nantes
 Thierry Burgeot, cadre de recherche, Ifremer, Nantes

- i. Le développement d'une approche par classes, basée sur une revue de la littérature et du dire d'experts qui permet de combler l'évaluation de couples espèce*biomarqueur pour lequel aucun seuil n'est développé.
- ii. Un changement dans la métrique retenue pour le calcul de l'indicateur. La métrique percentile 95 des niveaux mesurés pour chaque triplet espèce*biomarqueur*station avait été utilisée en 2018. Pour ce cycle (2024), la métrique du biomarqueur pour l'espèce à la station est la borne supérieure de l'intervalle de confiance unilatérale à 95%. Cela permet d'être homogène avec l'approche utilisée dans le D8C1 et les indicateurs OSPAR.
- iii. L'évaluation réalisée sur deux zones géographiques (Seine et Loire/Vilaine), situées dans deux sous-régions marines (MMN et GdG). L'évaluation du cycle 2 était réalisée sur la baie de Seine uniquement.
- iv. L'utilisation de nouveaux biomarqueurs chez la moule en lien avec l'arrêté national BEE 2019 : indice de stress général (LMS), biomarqueurs de génotoxicité (micronoyaux et cassures de brins d'ADN (test des comètes)), et un biomarqueur de neurotoxicité (AChE).
- v. Le développement d'une approche intégrée chimie biologie qui permet de mettre en regard la contamination et les effets observés sur une zone définie par une maille, en s'inspirant de plusieurs initiatives Européennes (Davies and Vethaak 2012, Giltrap et al. 2016, Burgeot et al. 2017, Giltrap et al. 2017, Hylland et al. 2017, Lyons et al. 2010, Lyons et al. 2017, Vethaak et al. 2017).

[BEE : Incidences sur les résultats de l'évaluation du bon état écologique](#)

Les développements méthodologiques permettent d'évaluer l'état des éléments du D8C2, i.e. l'espèce « moule », en lien avec la contamination chimique dans son ensemble.

Les résultats de cette évaluation ne sont pas totalement comparables avec ceux du cycle 2 pour lequel aucune évaluation n'a été possible au niveau de l'état des espèces. Cependant dans la mesure du possible, les données utilisées lors de l'évaluation précédente sont retraitées avec cette nouvelle méthode pour réaliser une comparaison au niveau biomarqueurs/espèce entre les évaluations cycle 2 et cycle 3.

[PDS : Incidences sur le dispositif de surveillance associé](#)

Besoin de pérenniser les campagnes SELI, ainsi que les prélèvements et les analyses associées.

[OE : Incidences sur la définition des objectifs environnementaux et sur l'évaluation des OE](#)

A définir.

[PdM : Incidences sur le programme de mesures](#)

A définir.

[Publication\(s\) en lien avec l'indicateur proposé](#)

Burgeot, T., F. Akcha, D. Ménard, C. Robinson, V. Loizeau, C. Brach-Papa, C. Martínez-Gómez, J. Le Goff, H. Budzinski, K. Le Menach, J. Cachot, C. Minier, K. Broeg and K. Hylland (2017). "Integrated monitoring of chemicals and their effects on four sentinel species, *Limanda limanda*, *Platichthys flesus*, *Nucella lapillus* and *Mytilus* sp., in Seine Bay: A key step towards applying biological effects to monitoring." *Marine Environmental Research* 124: 92-105.

Davies and Vethaak (2012). "Integrated marine environmental monitoring of chemicals and their effects." *ICES Cooperative Research Report No 315*.

Giltrap, M., J. Ronan, J. P. Bignell, B. P. Lyons, E. Collins, H. Rochford, B. McHugh, E. McGovern, L. Bull and J. Wilson (2017). "Integration of biological effects, fish histopathology and contaminant measurements for the assessment of fish health: A pilot application in Irish marine waters." *Marine Environmental Research* 129: 113-132.

Giltrap, M., J. Ronan, C. Tanner, F. X. O'Beirn, B. P. Lyons, R. Mag Aoidh, H. Rochford, B. McHugh, E. McGovern and J. Wilson (2016). "Application of a weight of evidence approach utilising biological effects, histopathology and contaminant levels to assess the health and pollution status of Irish blue mussels (*Mytilus edulis*)." *Marine Environmental Research* 122: 33-45.

Hylland, K., C. D. Robinson, T. Burgeot, C. Martinez-Gomez, T. Lang, J. Svavarsson, J. E. Thain, A. D. Vethaak and M. J. Gubbins (2017). "Integrated chemical and biological assessment of contaminant impacts in selected European coastal and offshore marine areas." *Marine Environmental Research* 124: 130-138.

Lyons, B. P., J. P. Bignell, G. D. Stentiford, T. P. C. Bolam, H. S. Rumney, P. Bersuder, J. L. Barber, C. E. Askem, M. E. E. Nicolaus and T. Maes (2017). "Determining Good Environmental Status under the Marine Strategy

Date de modification : 17 novembre 2023

Contacts : Nathalie Wessel, Assistante RT, Ifremer, Nantes, nathalie.wessel@ifremer.fr
 Aourel Mauffret, RT, Ifremer, Nantes, aourel.mauffret@ifremer.fr
 Mélanie Brun, Biostatisticienne, Ifremer, Nantes, melanie.brun@ifremer.fr

Contributeurs : Vincent Roubex, cadre de recherche, Ifremer, Nantes
 Thierry Burgeot, cadre de recherche, Ifremer, Nantes

Framework Directive: Case study for descriptor 8 (chemical contaminants)." Marine Environmental Research 124: 118-129.

Lyons, B. P., J. E. Thain, G. D. Stentiford, K. Hylland, I. M. Davies and A. D. Vethaak (2010). "Using biological effects tools to define Good Environmental Status under the European Union Marine Strategy Framework Directive." Marine Pollution Bulletin 60(10): 1647-1651.

Roubeix Vincent, Wessel Nathalie, Akcha Farida, Aminot Yann, Briauudeau Tifanie, Burgeot Thierry, Chouvelon Tiphaine, Izagirre Urtzi, Munsch Catherine, Mauffret Aourell (2023). Differences in biomarker responses and chemical contamination among three flatfish species in the Bay of Seine (NE Atlantic). Marine Pollution Bulletin , 197, 115674 (15p.). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115674>

Vethaak, A. D., I. M. Davies, J. E. Thain, M. J. Gubbins, C. Martínez-Gómez, C. D. Robinson, C. F. Moffat, T. Burgeot, T. Maes, W. Wosniok, M. Giltrap, T. Lang and K. Hylland (2017). "Integrated indicator framework and methodology for monitoring and assessment of hazardous substances and their effects in the marine environment." Marine Environmental Research 124: 11-20.

Messages clés de l'évaluation DCSMM-BEE cycle 3

La présente fiche indicateur candidat concerne l'évaluation de l'état de santé des bivalves par rapport aux effets des contaminants chimiques à travers des mesures de biomarqueurs sur des moules de l'espèce *Mytilus edulis*. Ces biomarqueurs rendent compte d'effets cytotoxiques, neurotoxiques et génotoxiques. Les moules ont été collectées lors de campagnes SELI en baie de Seine et autour des estuaires de la Loire et de la Vilaine. Les zones de prospection de ces campagnes définissent deux unités marines de rapportage (UMR), SELISeine et SELILOire, correspondant aux sous-régions marines (SRM) Manche-Mer du Nord et Golfe de Gascogne, respectivement.

Un indice multimétrique de santé des bivalves a été développé pour combiner les résultats de quatre biomarqueurs mesurés individuellement sur 15 à 30 individus de moule par station et dont les valeurs ont été classées en notes allant de 1 à 5, avec un bon état atteint lorsque la note est égale ou supérieure à 4,00. Cet indice a été appliqué à la moule pour les différentes stations des UMR SELISeine et SELILOire, puis agrégé à l'échelle des UMR.

La moule est en bon état dans les deux UMR et dans toutes les EGE. On n'observe que deux dépassements du seuil d'atteinte (note=3,0) parmi tous les couples biomarqueur*station. Au cycle précédent, la santé des moules avait aussi été évaluée en bon état en baie de Seine. Une évaluation intégrée de l'état de santé des différentes espèces suivies (poisson, moule, gastéropode) au regard des paramètres écotoxicologiques et des concentrations en contaminants chimiques est discutée dans le rapport scientifique (Mauffret et al., 2023).

1 Contexte / Introduction

1.1 Description générale de la fiche indicateur BEE grand public

Le descripteur 8 de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM) concerne la pression induite sur le milieu marin par des substances chimiques d'origine anthropique, et les impacts biologiques provoqués par cette pression. Les contaminants pris en compte dans le cadre du descripteur 8 concernent les substances introduites dans le milieu marin à la suite d'activités anthropiques et qui peuvent avoir des effets néfastes sur l'écosystème marin. Ces substances peuvent être présentes naturellement dans le milieu, comme les métaux et HAP, ou d'origine exclusivement synthétique, comme les polychlorobiphényles (PCB) ou certains pesticides.

Date de modification : 17 novembre 2023

Contacts : Nathalie Wessel, Assistante RT, Ifremer, Nantes, nathalie.wessel@ifremer.fr
Aourell Mauffret, RT, Ifremer, Nantes, aourell.mauffret@ifremer.fr
Mélanie Brun, Biostatisticienne, Ifremer, Nantes, melanie.brun@ifremer.fr

Contributeurs : Vincent Roubeix, cadre de recherche, Ifremer, Nantes
Thierry Burgeot, cadre de recherche, Ifremer, Nantes

Le Bon Etat Ecologique (BEE) pour le descripteur 8 de la DCSMM est atteint lorsque le niveau des contaminants dans l'environnement marin ne provoque pas d'effets dus à la pollution. D'après la décision 2017/848/CE, il est défini sur la base de quatre critères : 1) les concentrations en contaminants dans le milieu (sédiment et biote) (D8C1), 2) les effets des contaminants sur la santé des espèces et l'état des habitats (D8C2), 3) la durée et l'étendue spatiale des événements de pollution aiguë (D8C3) et 4) les effets négatifs de la pollution aiguë sur le biote (D8C4).

La présente fiche indicateur concerne le critère 2 du descripteur 8, et plus précisément la santé des bivalves dans les zones de prospection des deux campagnes en baies de Seine et de Loire et Vilaine, qui constituent les UMR SELISeine et SELILOire respectivement.

Une évaluation intégrée de l'état de santé des différentes espèces étudiées, en lien avec les niveaux de contamination, est discutée dans le rapport scientifique (Mauffret et al., 2023). Il combine des informations sur la santé des bivalves, des poissons et des gastéropodes, ainsi que les concentrations en contaminants mesurées dans le biote et les sédiments au sein des UMR SELISeine et SELILOire.

1.2 Justification et pertinence de chaque indicateur

Un biomarqueur est un paramètre biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental qui est mesuré dans les tissus d'un organisme ou sur un organisme entier, pour mettre en évidence l'exposition à, ou les effets d'un ou plusieurs contaminants chimiques (Garric et al., 2010). Pour rendre compte de l'effet des contaminants dans l'environnement, les biomarqueurs sont mesurés sur des organismes prélevés *in situ*. L'analyse de biomarqueurs sur des organismes exposés en laboratoire à des matrices (eau, sédiment) prélevés *in situ* renseigne sur le potentiel toxique du milieu. Le biomarqueur le plus communément suivi par les états membres européens est l'imposex, qui répond spécifiquement à l'effet du TBT chez les gastéropodes. Il a été classé indicateur commun par OSPAR et est suivi en France depuis 2003. Lors du cycle 2 de la DCSMM, une partie de l'évaluation du D8C2 a été renseignée par ce suivi pour la façade Manche-Atlantique. L'évaluation avait été complétée en MMN par le suivi de plusieurs biomarqueurs mesurés chez les moules et deux espèces de poisson (la limande et le flet) dans le cadre d'une initiative du CIEM (les projets ICON et BICO 2008 – 2012) pour évaluer l'applicabilité d'un suivi intégré chimie-biologie de la contamination chimique. Cet exercice a contribué au développement de recommandations par le CIEM pour le suivi des effets biologiques de la contamination chimique (Davies et Vethaak, 2012). Un numéro spécial dans Marine Environmental Research (N°124) a été également consacré à cet exercice.

L'ensemble des dispositifs de surveillance D8 actuels et proposés pour intégration a pour objectif de constituer un continuum unique pour le suivi des contaminants et de leurs effets potentiels, des eaux côtières aux couches profondes de l'Océan, dans le cadre de l'évaluation du D8 de la DCSMM.

L'indicateur « Etat de santé des bivalves » qui est proposé dans la présente fiche repose sur les données collectées lors des campagnes océanographiques organisées dans le cadre du « Suivi des Effets bioLogiques Induits par la contamination chimique » (SELI) réalisé pour l'évaluation du critère D8C1 car :

i) Les biomarqueurs utilisés lors des suivis SELI peuvent répondre à un panel plus large de contaminants que ceux ciblés dans le D8C1. Leur utilisation en surveillance permet donc d'évaluer plusieurs types d'impact de la contamination chimique.

ii) Les biomarqueurs « SELI » peuvent aussi rendre compte des effets cocktail des contaminants et leur modulation sous l'influence des paramètres environnementaux.

Date de modification : 17 novembre 2023

Contacts : Nathalie Wessel, Assistante RT, Ifremer, Nantes, nathalie.wessel@ifremer.fr
Aourel Mauffret, RT, Ifremer, Nantes, aourel.mauffret@ifremer.fr
Mélanie Brun, Biostatisticienne, Ifremer, Nantes, melanie.brun@ifremer.fr

Contributeurs : Vincent Roubéix, cadre de recherche, Ifremer, Nantes
Thierry Burgeot, cadre de recherche, Ifremer, Nantes

iii) La méthode d'évaluation de l'indicateur développée lors du cycle actuel permet une intégration de l'ensemble des biomarqueurs suivis, ainsi qu'une agrégation au niveau de l'UMR.

De par son implication dans les suivis et groupes de travail du CIEM sur l'utilisation des biomarqueurs en surveillance environnementale, la France possède une expertise qui a permis de mettre en place dans le cadre du D8C2 de la DCSMM le suivi SELI sur les effets biologiques intégrateurs de la contamination chimique chez des organismes marins (poissons et bivalves) (Akcha et al., 2003, Burgeot et al., 2017). Il se décline en 2 sous-dispositifs, chacun réalisé tous les trois ans (deux fois par cycle de 6 ans) : SELILOire et SELISeine (cf § 2.2).

Les caractéristiques suivantes des mollusques bivalves et notamment des filtreurs benthiques comme la moule, en font des espèces sentinelles du milieu marin pour la surveillance de la contamination chimique :

- capacités de bioaccumulation des contaminants chimiques présents dans l'eau : échantillonneurs actifs qui peut concentrer certains contaminants.
- mode de vie benthique et sessile : représentatifs d'une contamination localisée.
- organismes côtiers : proches des sources de déversement des contaminants d'origine terrestre et faciles à collecter.
- organismes cultivés et consommés par l'homme : assurance d'une continuité des stocks et intérêt sanitaire.

L'**élément** considéré dans la présente fiche indicateur est la moule bleue (*Mytilus edulis*), répandue sur les côtes de Manche-Atlantique. Les moules sont utilisées pour le suivi de la contamination chimique historique et émergente, et sont analysées notamment dans le cadre du ROCCH (Réseau d'Observation de la Contamination CHimique du littoral). Dans le cadre des campagnes SELI, les moules sont prélevées sur des stations ROCCH, lors des campagnes annuelles, afin de bénéficier de la connaissance du site et des analyses de contaminants faites par le ROCCH.

Quatre biomarqueurs (**paramètres**) sont mesurés individuellement. Ils peuvent être regroupés en trois catégories selon le type d'information qu'ils fournissent sur la santé des organismes :

- effets cytotoxiques : mesure de la **stabilité de la membrane lysosomale**,
- effets neurotoxiques : mesure de l'**activité de l'acétylcholine estérase**,
- effets génotoxiques : mesures du **niveau de cassures des brins d'ADN** et de la **prévalence des micronoyaux**

Ces biomarqueurs font partie des méthodes du suivi écotoxicologique des moules au niveau cellulaire, préconisées par le CIEM dans le cadre d'une évaluation intégrée des effets des contaminants (Davies et Vethaak, 2012). Ils répondent aux critères de qualité d'OSPAR (OSPAR, 2012) : (1) une méthode de référence, (2) une assurance qualité et (3) des seuils d'évaluation de type BAC et/ou EAC, validés par Opar à partir de données terrain.

La stabilité de la membrane lysosomale (LMS) est considérée comme un biomarqueur universel de stress toxique au niveau cellulaire. Les lysosomes sont des organelles qui contiennent des enzymes hydrolytiques et qui sont impliquées dans la dégradation de composés d'origine intra- ou extra-cellulaire. La stabilité de leur membrane est diminuée par la présence de contaminants. La mesure de la LMS consiste à estimer le temps au bout duquel la perméabilité de la membrane est altérée après application d'un stress aux cellules.

Date de modification : 17 novembre 2023

Contacts : Nathalie Wessel, Assistante RT, Ifremer, Nantes, nathalie.wessel@ifremer.fr
Aouell Mauffret, RT, Ifremer, Nantes, aouell.mauffret@ifremer.fr
Mélanie Brun, Biostatisticienne, Ifremer, Nantes, melanie.brun@ifremer.fr

Contributeurs : Vincent Roubéix, cadre de recherche, Ifremer, Nantes
Thierry Burgeot, cadre de recherche, Ifremer, Nantes

L'acétylcholinestérase (AChE) est une enzyme impliquée dans la transmission de l'influx nerveux. L'inhibition réversible ou non de son activité par certains polluants tels que de nombreux pesticides (e.g. organophosphates, carbamates et autres molécules similaires) peut être responsable de dysfonctionnements neurologiques. La mesure biochimique de l'inhibition de l'activité AChE constitue donc un biomarqueur d'effet neurotoxique.

Suite à l'exposition à des contaminants chimiques ainsi qu'à leurs sous-produits issus de la biotransformation, un effet direct sur le matériel génétique peut avoir des conséquences sur l'expression du génome et sur la physiologie des organismes exposés. La mesure des lésions structurales primaires de l'ADN, telles que les cassures de brins de l'ADN, constitue un biomarqueur de génotoxicité précoce. La méthode des comètes évalue l'ampleur des cassures de brins de l'ADN qui se révèlent sous forme d'une queue de comète après migration de l'ADN des cellules sur un gel d'électrophorèse.

Un second biomarqueur de génotoxicité est suivi : la prévalence des micronoyaux, qui correspond à la fréquence d'altérations chromosomiques apparaissant sous forme de petits noyaux isolés du noyau principal de la cellule.

2 Méthode

2.1 Echelles spatiales (zones de rapportage ; zones d'évaluation)

2.1.1 UMR

Les deux UMR considérées sont les zones de prospection des campagnes SELI dans chacune des SRM : la baie de Seine pour la Manche-Mer du Nord (SELISeine) et la zone côtière à proximité des estuaires de la Loire et de la Vilaine (SELILoire) pour le Golfe de Gascogne. Ces UMR correspondent à des zones d'apport important de contaminants par les fleuves. Chaque UMR représente en surface une partie limitée des SRM correspondantes.

2.1.2 Echelle géographique d'évaluation

L'échelle géographique d'évaluation (**EGE**) est la **station de prélèvement** des moules (Tableau 1). Dans l'UMR SELISeine, on distingue six stations réparties sur le littoral de la baie de Seine : une dans l'estuaire de la Seine (Villerville), une au nord (Antifer) et quatre à l'ouest de l'estuaire (Ouireham, Meuvaines, Port en Bessin et Grandcamp). Il y a également six stations dans l'UMR SELILoire : deux dans l'estuaire de la Loire (pointe Chemoulin et Bonne Source) et quatre dans la baie de Vilaine (Pointe Castelli, Pen Bé, Pointe Er Fosse) dont une sur l'île Dumet (île Dumet). Les EGE correspondent à des stations de prélèvement du Réseau d'Observation de la Contamination Chimique du littoral (ROCCH).

Tableau 1. Organisation spatiale de l'évaluation aux différentes échelles

SRM	UMR	EGE	Élément évalué
Manche- Mer du Nord (MMN)	Zone de prospection de la campagne SELISeine	Antifer	Moule
		Villerville	Moule
		Ouistreham	Moule
		Meuvaines	Moule
		Port en Bessin	Moule
		Bdv Grandcamp	Moule
Golfe de Gascogne (GdG)	Zone de prospection de la campagne SELILOire	Pointe Er Fosse	Moule
		Pen Bé	Moule
		Ile Dumet	Moule
		Pointe Castelli	Moule
		Bonne Source	Moule
		Pointe Chemoulin	Moule

2.1.3 Description de la zone d'évaluation

Les deux UMR couvrent les zones côtières à proximité des estuaires de deux grands fleuves français, la Seine et la Loire. Ce sont des zones impactées par les apports des fleuves et qui représentent une partie limitée des sous-régions marines correspondantes (MMN et GdG).

L'UMR SELISeine se situe dans la baie de Seine. La baie de Seine recouvre une surface d'environ 5000 m² et est caractérisée par une profondeur inférieure à 30 m et de forts courants de marée. La qualité de l'eau est influencée par les apports de la Seine, dont le bassin versant couvre une surface de 78 650 km², est fortement urbanisé et supporte 40 % de l'activité économique de la France. Le panache de la Seine s'étire vers le nord de la baie et la côte d'Albâtre (Dauvin et al., 2020).

L'UMR SELILOire comprend la partie externe de l'estuaire de la Loire et la baie de Vilaine. Les bassins versants de la Loire et de la Vilaine couvrent respectivement 117 000 km² et 10 500 km². Les eaux de la Loire influencent la bande côtière au nord de l'embouchure du fleuve et particulièrement la baie de Vilaine (Chiffolleau, 2017).

Les différences de pressions anthropiques sur les bassins versants des deux grands fleuves font que l'estuaire de la Loire est généralement moins contaminé par les métaux et les contaminants organiques que l'estuaire de la Seine (Mary et al., 2021, Bizzozero et al., 2021, Ifremer, 2021, Bragigand et al., 2006).

2.2 Méthode de surveillance

Le dispositif de Suivi des Effets bioLogiques Induits par la contamination chimique (**SELI**, doi : 10.18142/285) est mis en place sur la façade Manche-Atlantique depuis 2017 pour acquérir des données sur les effets biologiques intégrateurs de la contamination chimique chez des organismes marins (poissons plats et bivalves) et permettre l'évaluation du BEE selon le critère D8C2. Sur la façade Atlantique, il se décline en 2 sous-dispositifs, chacun mis en œuvre tous les 3 ans.

Pour la France, les données disponibles pour l'évaluation de l'état de santé des poissons et des bivalves pour le cycle 3 (appel à données : juin 2021) correspondent aux campagnes SELI :

- SELILOire : suivi des effets de la contamination chez la sole (*Solea solea*) et les moules (*Mytilus edulis*) autour des embouchures de la Loire et de la Vilaine en 2017-18, et en 2020-2021. En faisant l'hypothèse d'une faible variabilité temporelle sur trois ans, les résultats obtenus en 2018 et en 2021 sur une même station ont été combinés pour l'évaluation de ce cycle.

- SELISeine : suivi des effets de la contamination chez la sole, le flet (*Platichthys flesus*), la limande (*Limanda limanda*) et les moules (*Mytilus edulis*) de la baie de Seine en 2018-19.

2.3 Méthode d'évaluation

2.3.1 Description de la méthode d'évaluation, justification du choix et du processus d'agrégation

Dans chaque station, de 15 à 30 moules ont été prélevées. Un biomarqueur est évalué à l'échelle d'une station s'il a été mesuré sur 8 individus ou plus.

Les quatre biomarqueurs cités précédemment sont mesurés sur chaque individu. Pour chaque biomarqueur, la moyenne de l'échantillon et son intervalle de confiance unilatéral à 95%, dans le sens de la dégradation, sont calculés (Figure 1). L'extrémité de cet intervalle de confiance est utilisée comme **valeur atteinte d'un paramètre dans une station** et est considérée pour déterminer une note à chaque paramètre (Figure 1, Tableau 2).

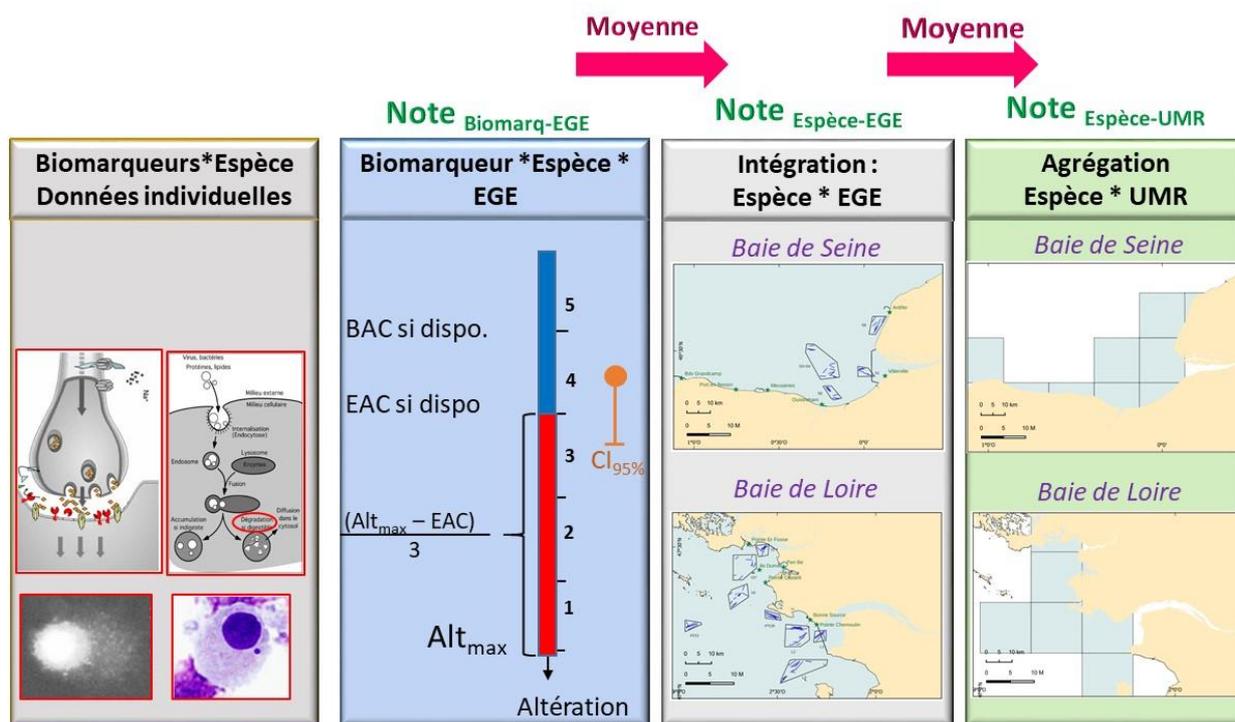


Figure 1. Etapes de l'évaluation de la santé des bivalves (D8C2).

2.3.2 Concepts et méthodes pour l'établissement de valeurs seuils

La définition des classes pour chaque paramètre s'appuie sur les seuils internationaux proposés par le CIEM (Davies et Vethaak, 2012) :

- les critères d'évaluation environnementale **EAC** qui indiquent un risque pour l'écosystème marin. Aucun effet chronique sur les organismes marins n'est attendu si les concentrations ou réponses biologiques ne dépassent pas l'EAC,
- les valeurs de fond **BAC** qui indiquent la réponse biologique mesurable dans une zone sans historique de contamination connue.

Certaines valeurs de référence (équivalentes au BAC) et d'altération maximale (Alt_{max}) utiles à la classification des réponses biologiques ont été établies sur la base de données disponibles, complétées par une analyse bibliographique (cf rapport scientifique). Le Tableau 2 présente les limites de classes définies pour chaque paramètre ainsi que les seuils internationaux utilisés pour les établir.

La limite entre les classes 3 et 4, qui correspond soit au seuil EAC, soit au quart de l'intervalle de dégradation du paramètre depuis la limite 5-4, constitue le **seuil d'atteinte** de chaque paramètre. De ce fait, la valeur seuil pour la note a été fixée à **4,00**. Une note strictement inférieure à 4,00 classe l'élément dans l'état mauvais.

Tableau 2. Seuils et limites de classes des biomarqueurs chez la moule. Les limites de classes 5-4 et 4-3 en vert et gras correspondent respectivement aux BAC et EAC proposés par le CIEM (Davies et Vethaak, 2012). Les valeurs théoriques d'altération maximale (Alt_{max}) en violet et italique, et celles en orange et gras correspondent respectivement aux valeurs obtenues à partir de dire d'expert ou de la bibliographie.

Paramètre	Unité	Sens d'altération ¹	Espèce	Limites de classes (notes)				Alt _{max}
				5-4	4-3	3-2	2-1	
LMS	min	↘	Moule	20	10	7,3	4,7	<i>2</i>
AChE	nmol/min/mg prot	↘	Moule	30	21	13	8	<i>5²</i>
Comet	% ADN queue	↗	Moule	10	23	36	49	62
MN	‰	↗	Moule	2,5	8	13,5	19	24

¹ Inhibition (↘) ou augmentation (↗) des valeurs du paramètre sous l'effet de la pression toxique

² Minimum estimé sur échelle logarithmique (>0)

2.3.3 Règle d'intégration critères/élément

Non pertinent pour la fiche

2.3.4 Règle d'intégration paramètres/critère

MULTIMÉTRIQUE

Chaque élément reçoit une note pour chacun des quatre paramètres. L'évaluation du critère pour cet élément est basée sur la moyenne de ces notes.

Tableau 3. Outils d'évaluation utilisés pour renseigner l'indicateur « Etat de santé des poissons » dans le cadre de l'évaluation cycle 3 pour la Région Marine Manche-Atlantique

Indicateur	Etat de santé des bivalves		
Critère associé	D8C2 - Effets des contaminants sur les espèces et les habitats		
Source de l'évaluation de l'indicateur	Nationale		
Élément considéré	Moule bleue (<i>Mytilus edulis</i>)		
Unités marines de rapportage	SRM MMN	SRM MC	SRM GdG
	Zone de prospection de la campagne SELISeine (SELISeine)		Zone de prospection de la campagne SELILOire (SELILOire)
Echelle géographique d'évaluation	Station de prélèvements des moules		
Métrique	<p>Pour chaque espèce, chaque biomarqueur est évalué dans son unité de mesure, puis le résultat est retranscrit en une note pour les étapes d'intégration et d'agrégation. La métrique utilisée pour l'évaluation de l'espèce au sein de l'UMR est une note de santé de 1 à 5 déterminée en 3 étapes (Figure 1) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - note du biomarqueur par station (Note_{Esp-Biom-EGE}) : classe de valeurs du paramètre (de 1 à 5, Tableau 2) déterminée par l'intervalle de confiance de la moyenne, 		

Paramètre	- note de l'espèce par station (Note _{Esp-EGE}) : moyenne pondérée des notes des biomarqueurs pour une espèce dans une EGE (intégration des paramètres), - note de l'espèce dans l'UMR (Note _{Esp-UMR}) : moyenne des notes de l'espèce dans les stations pour une espèce dans une UMR (agrégation spatiale des EGE pour une espèce dans une UMR).		
	Stabilité de la membrane lysosomale (LMS) Inhibition de l'acétylcholine estérase (AChE) Niveau de cassures des brins d'ADN (Comet) Prévalence des micronoyaux (MN)		
Unité de mesure	Autre		
	LMS : min AChE : nmol/min/mg prot Comet : % ADN queue MN : ‰		
Sources des seuils	Convention OSPAR + Autre		
	Une étude bibliographique de la littérature scientifique et la consultation de diverses bases de données ont permis de déterminer certaines limites de classes nécessaires pour tous les biomarqueurs, en complément des seuils issus de la convention OSPAR.		
Seuils fixés pour le paramètre	SRM MMN	SRM MC	SRM GdG
	Seuils des différents biomarqueurs pour les triplets Esp-Biom-EGE : LMS: 10 min (EAC) AChE: 21 nmol/min/mg prot (EAC) Comet: 23 % ADN queue MN : 8 ‰ Seuil de la note de l'élément dans l'EGE/UMR (Note _{Esp-UMR} et Note _{Esp-UMR}) = 4,00		
Jeux de données sources	Données des campagnes SELILOire2017 et -2020 et SELISeine2018, bancarisées dans la base de données Quadrige ²		
Années considérées	2019		2018 & 2021

2.4 Incertitude sur les résultats

Selon l'évaluation de la fiabilité des résultats développé par OSPAR pour l'évaluation intermédiaire de 2017

(<https://oap.ospar.org/fr/evaluations-ospar/evaluation-intermediaire-2017/introduction/processus-et-methodes-devaluation/>). Différentes sources d'incertitude sont détaillées dans le Rapport scientifique.

2.4.1 Confiance dans les données

Confiance dans les données	Description
Modéré	Les lacunes dans les données ont un impact limité sur les résultats d'ensemble de l'évaluation, par exemple : <ul style="list-style-type: none"> • L'évaluation est réalisée en utilisant les données ayant une couverture spatiale essentiellement suffisante pour la zone évaluée mais des lacunes sont apparentes (e.g. les UMR couvrent une partie limitée de la zone à évaluer par la DCSMM).

Date de modification : 17 novembre 2023

Contacts : Nathalie Wessel, Assistante RT, Ifremer, Nantes, nathalie.wessel@ifremer.fr
 Aouell Mauffret, RT, Ifremer, Nantes, aouell.mauffret@ifremer.fr
 Mélanie Brun, Biostatisticienne, Ifremer, Nantes, melanie.brun@ifremer.fr

Contributeurs : Vincent Roubéix, cadre de recherche, Ifremer, Nantes
 Thierry Burgeot, cadre de recherche, Ifremer, Nantes

	<ul style="list-style-type: none"> • L'évaluation est réalisée en utilisant les données recueillies sur 1 à 2 années au cours d'une période pertinente à l'évaluation bien que des questions sur la variabilité temporelle de la contamination chimique se posent.
--	---

2.4.2 Confiance dans chaque indicateur

Confiance dans chaque indicateur	Description
Modéré	<p>La méthodologie d'évaluation pourrait bénéficier de certains développements supplémentaires pour les futures évaluations, par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La méthodologie présentée est utilisée pour évaluer la santé des bivalves et a été utilisée antérieurement dans des évaluations publiées mais des développements permettraient d'améliorer l'indicateur (e.g. développement de seuils plus adaptés prenant en compte les effets cocktails, les effets chroniques, prise en compte de série temporelle pour évaluer l'évolution de la réponse). • Il existe un consensus au sein de la communauté scientifique au sujet de cette méthodologie mais certaines questions subsistent dans le cadre de la méthodologie (e.g. prise en compte de la variabilité inter-spécifique, de la variabilité spatiale, pertinence environnementale de l'utilisation de seuils mono-paramètre).

3 Résultats de l'évaluation

3.1 Etat

3.1.1 Résumé des résultats

La majorité des couples biomarqueur*EGE obtiennent des notes $\geq 4,00$ (Figure 3, Tableau 4). La LMS à l'île Dumet et l'ACHe à Bonne Source sont les deux seuls couples biomarqueur*EGE pour lesquels le seuil de bon état n'est pas atteint (note = 3). Le premier niveau d'intégration (note espèce*EGE) montre que l'EGE Bonne Source est la seule où la note de la moule passe sous le seuil de bon état (=3,67). A cette station, le niveau de micronoyaux n'avait pu être mesuré. L'intégration a donc été réalisée sur trois biomarqueurs. A l'échelle de l'UMR, les notes de la moule sont égales à 4,50 dans SELISeine et 4,35 dans SELILoire. Le bon état est donc atteint pour la moule dans les deux UMR considérées. Les biomarqueurs pour lesquels les notes sont les moins élevées sont la LMS et le niveau de cassures de brins de l'ADN. Toutes les notes de MN sont égales à 5,00. Pour l'ACHe 11/12 stations obtiennent également la note maximale de 5,00, tandis que la note à Bonne source est à 3,00.

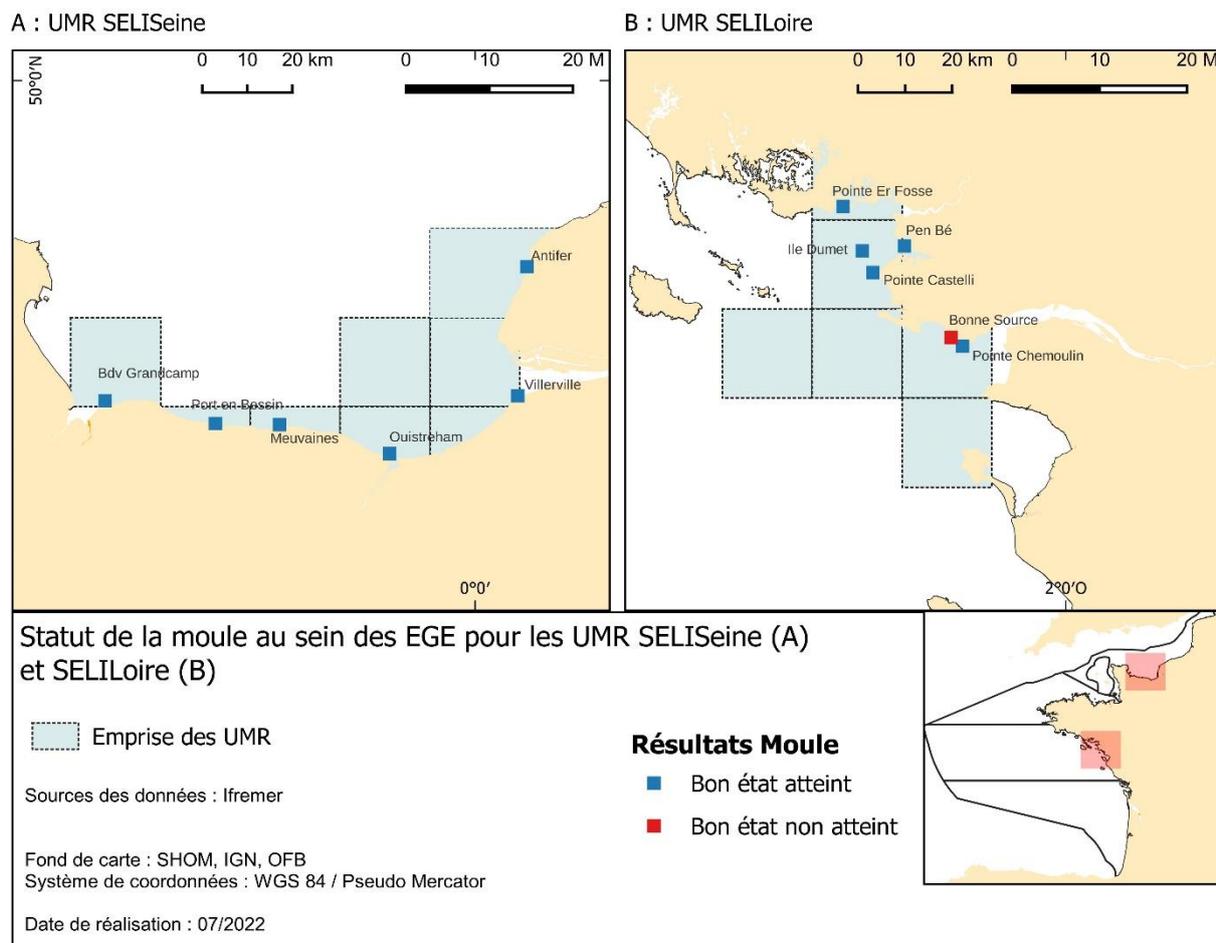


Figure 2. Evaluation par élément et EGE pour les UMR des SRM Manche-Mer du Nord (A) et Golfe de Gascogne (B) (note_{espèce-EGE}, données 2017, 2018 et 2020).

Date de modification : 17 novembre 2023

Contacts : Nathalie Wessel, Assistante RT, Ifremer, Nantes, nathalie.wessel@ifremer.fr
Aouell Mauffret, RT, Ifremer, Nantes, aouell.mauffret@ifremer.fr
Mélanie Brun, Biostatisticienne, Ifremer, Nantes, melanie.brun@ifremer.fr

Contributeurs : Vincent Roubéix, cadre de recherche, Ifremer, Nantes
Thierry Burgeot, cadre de recherche, Ifremer, Nantes

3.1.2 Illustrations de l'évaluation

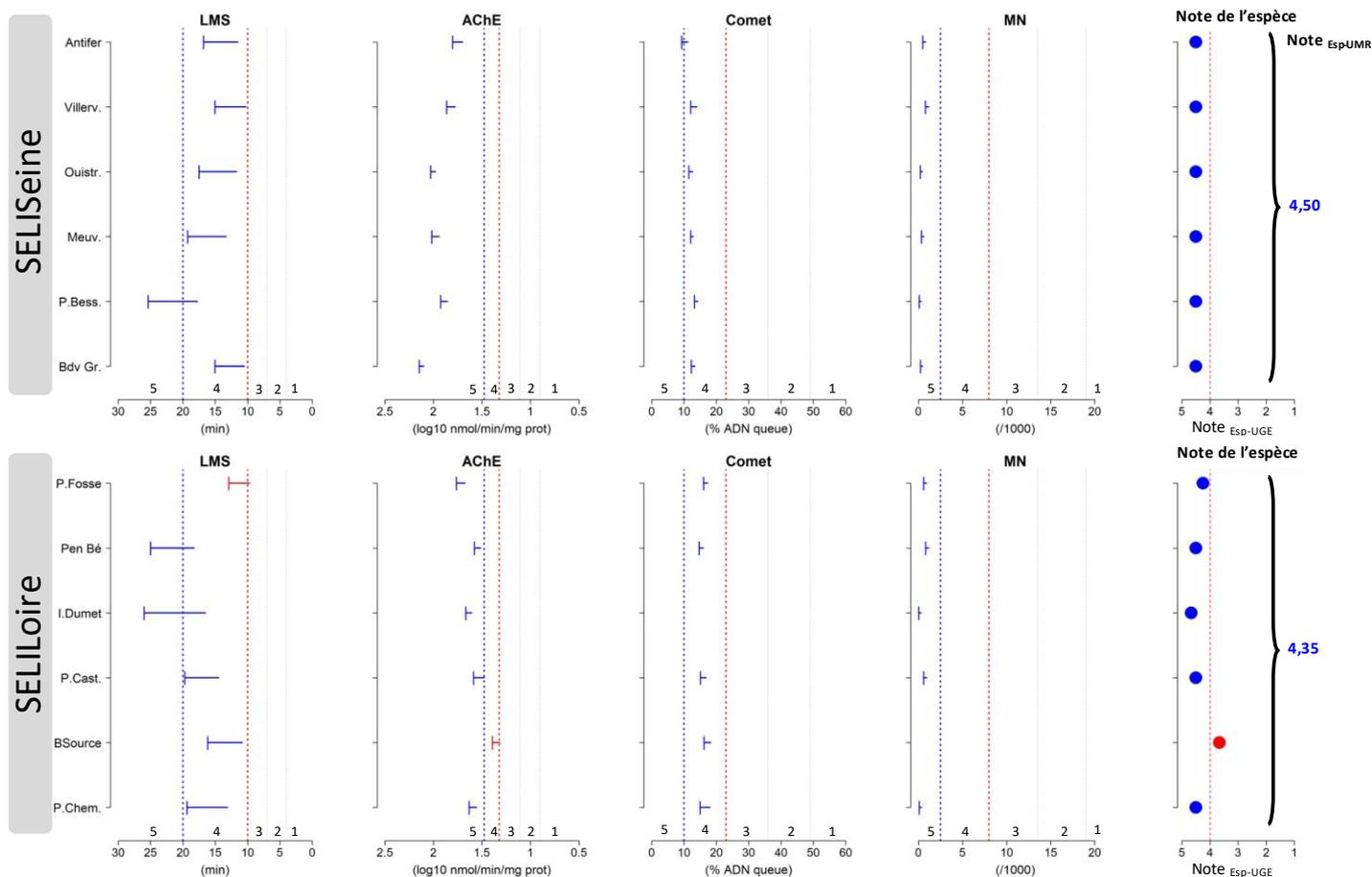


Figure 3. Evaluation des quatre biomarqueurs et de la métrique intégrée pour la moule à l'échelle des différentes stations-EGE ($Note_{Esp-EGE}$) et des UMR ($Note_{Esp-UMR}$). Symbologie de chaque biomarqueur (┆) : les traits verticaux et horizontaux correspondent respectivement à la moyenne et à l'intervalle de confiance unilatéral à 95 %. Les lignes verticales en pointillés bleus et rouges indiquent les limites entre les notes 5-4 et 4-3, respectivement. Les lignes verticales en pointillés grises indiquent les limites entre les notes suivantes. Pour la note de l'espèce dans les EGE ($Note_{Esp-EGE}$), les lignes verticales en trait discontinu rouge indiquent le seuil de bon état pour le critère D8C2.

Date de modification : 17 novembre 2023

Contacts : Nathalie Wessel, Assistante RT, Ifremer, Nantes, nathalie.wessel@ifremer.fr
 Aouell Mauffret, RT, Ifremer, Nantes, aouell.mauffret@ifremer.fr
 Mélanie Brun, Biostatisticienne, Ifremer, Nantes, melanie.brun@ifremer.fr

Contributeurs : Vincent Roubeix, cadre de recherche, Ifremer, Nantes
 Thierry Burgeot, cadre de recherche, Ifremer, Nantes

3.1.3 Tableau des résultats

Tableau 4. Résultats détaillés de l'évaluation du critère D8C2 pour la moule pour les SRM de la Manche- Mer du Nord (UMR SELISeine) et du golfe de Gascogne (UMR SELILOire). La couleur rouge indique des notes inférieures au seuil de bon état du critère (4,00) et la couleur bleue, des notes supérieures ou égales à ce seuil.

SRM	UMR	EGE	Biomarqueur Unité	LMS min	AChE nmol/min /mg prot	Comet % ADN queue	MN ‰	Espèce : Moule		Statut (Seuil = 4,0)	
								Note Esp-EGE	Note Esp-UMR		EGE
			Seuil d'atteinte	> 10	> 21	< 23	< 8				
Manche- Mer du Nord	SELISeine	Antifer - digue	n	15	15	9	12	4,50	4,50	Bon	
			Valeur atteinte	11,5	50,1	11,1	0,8				
			min-max	5,6 - 31,7	26,7 - 239,9	6,5 - 13,7	0,0 - 3,0				
			Note _{Biom-EGE}	4	5	4	5				
		Villerville	n	15	15	10	14	4,50	4,50	Bon	
			Valeur atteinte	10,3	60,1	14,0	1,2				
			min-max	7,5 - 32,5	26,1 - 137,3	7,2 - 17,5	0,0 - 3,0				
	Note _{Biom-EGE}	4	5	4	5						
Ouireham	n	13	15	13	15	4,50	4,50	Bon			
	Valeur atteinte	11,7	95,6	12,6	0,4						
	min-max	9,3 - 25	63,8 - 140,4	7,3 - 14,1	0,0 - 0,5						
	Note _{Biom-EGE}	4	5	4	5						
Meuvaines	n	16	15	13	13	4,50	4,50	Bon			
	Valeur atteinte	13,3	87,5	12,8	0,6						
	min-max	10,0 - 40,0	52,0 - 189,3	9,6 - 14,4	0,0 - 1,5						
	Note _{Biom-EGE}	4	5	4	5						
Port en Bessin	n	17	15	11	13	4,50	4,50	Bon			
	Valeur atteinte	17,8	72,0	14,2	0,3						
	min-max	16,2 - 40,0	51,4 - 170,5	10,1 - 16,4	0,0 - 1,0						
	Note _{Biom-EGE}	4	5	4	5						
Bdv Grandcamp	n	17	15	12	14	4,50	4,50	Bon			
	Valeur atteinte	10,5	126,3	13,3	0,5						
	min-max	8,3 - 22,5	96,8 - 224,4	9,0 - 15,9	0,0 - 2,5						
	Note _{Biom-EGE}	4	5	4	5						
Golfe de Gascogne	SELILOire	Pointe er Fosse	n	28	30	26	14	4,25	4,25	Bon	
			Valeur atteinte	9,7	47,3	17,3	0,9				
			min-max	5,0 - 25,0	16,8 - 182,3	7,3 - 21,1	0,0 - 3,0				
			Note _{Biom-EGE}	3	5	4	5				
		Pen Bé	n	23	25	27	22	4,50	4,50	Bon	
			Valeur atteinte	18,3	32,7	16,0	1,2				
			min-max	12,5 - 40,0	18,4 - 74,2	9,6 - 22,7	0,0 - 3,6				
	Note _{Biom-EGE}	4	5	4	5						
Ile Dumet	n	10	29	nd	16	4,67	4,35	Bon			
	Valeur atteinte	16,5	40,4	nd	0,3						
	min-max	16,2 - 32,5	22,7 - 133,3	nd	0,0 - 0,9						
	Note _{Biom-EGE}	4	5	nd	5						
Pointe Castelli	n	24	28	28	20	4,50	4,50	Bon			
	Valeur atteinte	14,9	30,1	16,8	0,9						
	min-max	10,0 - 30,0	11,9 - 135,4	8,9 - 26,2	0,0 - 1,5						
	Note _{Biom-EGE}	4	5	4	5						
Bonne Source	n	13	14	14	nd	3,67	3,67	Mauvais			
	Valeur atteinte	10,8	20,7	18,2	nd						
	min-max	10,0 - 40,0	11,9 - 43,8	8,7 - 23,4	nd						
	Note _{Biom-EGE}	4	3	4	nd						
Pointe de Chemoulin	n	14	27	15	9	4,50	4,50	Bon			
	Valeur atteinte	13,1	35,9	18,0	0,4						
	min-max	12,5 - 30,0	20,6 - 118,9	6,5 - 27,0	0,0 - 1,0						
	Note _{Biom-EGE}	4	5	4	5						

Date de modification : 17 novembre 2023

Contacts : Nathalie Wessel, Assistante RT, Ifremer, Nantes, nathalie.wessel@ifremer.fr
 Aourell Mauffret, RT, Ifremer, Nantes, aourell.mauffret@ifremer.fr
 Mélanie Brun, Biostatisticienne, Ifremer, Nantes, melanie.brun@ifremer.fr

Contributeur : Vincent Roubeix, cadre de recherche, Ifremer, Nantes
 Thierry Burgeot, cadre de recherche, Ifremer, Nantes

3.1.3.1 Résultats de l'évaluation au niveau des biomarqueurs

- LMS : par rapport aux autres biomarqueurs, la LMS se rapproche le plus de son seuil EAC. Cependant, il n'y a qu'un seul dépassement du seuil d'atteinte du biomarqueur, à la station Pointe Er Fosse (SELILoire). Les valeurs les plus élevées (les moins altérées) ont été mesurées à Port en Bessin (SELISeine) et Pen Bé (SELILoire).
- AChE : toutes les valeurs d'AChE permettent d'atteindre la note maximale de 5 (réponse environnementale autour du seuil BAC), excepté à la station Bonne Source (SELILoire) où la note de 3 est attribuée (=activité inférieure à l'EAC). Ceci indique que les moules ne subissent pas de stress neurotoxique hormis à la station Bonne Source.
- Comet : Les valeurs de Comet dépassent toutes le seuil BAC mais restent inférieures au seuil d'atteinte du biomarqueur. La note du paramètre est donc égale à 4 pour toutes les EGE.
- MN : Il n'y a aucun dépassement du seuil BAC. La combinaison des résultats des deux biomarqueurs de génotoxicité semble indiquer que les moules ne subissent pas de stress génotoxique important.

3.1.3.2 Résultats de l'évaluation pour l'espèce

Au sein de chaque UMR, la moule est en bon état. Une seule EGE comprise dans l'UMR SELILoire n'atteint pas le bon état.

3.2 Tendances

Non pertinent

4 Comparaison avec la précédente évaluation

Au cycle précédent, la santé des bivalves avait été évaluée à travers trois biomarqueurs communs à la présente évaluation, mesurés sur des moules à trois stations dans la baie de Seine (Mauffret et al., 2018). On constate que les résultats sont similaires dans les deux évaluations : pas de dépassement de l'EAC pour LMS et AChE, et de BAC pour MN, à aucune station. Toutefois, bien que la technique analytique de la mesure de la LMS diffère entre les deux cycles (évaluation du temps de rétention du rouge neutre en 2018 vs technique d'histochimie en 2024), des seuils EAC ont été définis pour chaque technique. Il avait été précédemment notifié que les valeurs de LMS étaient proches de l'EAC, ce qui est aussi le cas dans ce cycle, notamment pour les stations Bdv Grandcamp, Antifer et Villerville. Aucune analyse n'a été faite au cycle précédent sur des bivalves dans le Golfe de Gascogne.

5 Références bibliographiques

Akcha, F., F. Vincent Hubert and A. Pfol-Leszkowicz (2003). "Potential value of the comet assay and DNA adduct measurement in dab (*Limanda limanda*) for assessment of in situ exposure to genotoxic compounds." *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 534(1): 21-32.

Bizzozero Lucie, Le Merrer Yoann, Fortune Mireille, Collin Karine, Schmitt Anne, Pierre-Duplessix Olivier, Schapira Mathilde, Bonneau Françoise, Souchu Philippe (2021). *Qualité du Milieu Marin Littoral. Bulletin de la surveillance 2020. Départements de Loire Atlantique et Vendée (Partie nord)*. ODE/LITTORAL/LER MPL/21.07. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00724/83562/>

Date de modification : 17 novembre 2023

Contacts : Nathalie Wessel, Assistante RT, Ifremer, Nantes, nathalie.wessel@ifremer.fr
Aouell Mauffret, RT, Ifremer, Nantes, aouell.mauffret@ifremer.fr
Mélanie Brun, Biostatisticienne, Ifremer, Nantes, melanie.brun@ifremer.fr

Contributeur : Vincent Roubex, cadre de recherche, Ifremer, Nantes
Thierry Burgeot, cadre de recherche, Ifremer, Nantes

Bragigand V., Amiard-Triquet C., Parlier E., Boury P., Marchand P., Hourch M.E. (2006) Influence of biological and ecological factors on the bioaccumulation of polybrominated diphenyl ethers in aquatic food webs from French estuaries. *Science of the Total Environment* 368: 615–626.

Burgeot, T., F. Akcha, D. Ménard, C. Robinson, V. Loizeau, C. Brach-Papa, C. Martínez-Gómez, J. Le Goff, H. Budzinski, K. Le Menach, J. Cachot, C. Minier, K. Broeg and K. Hylland (2017). "Integrated monitoring of chemicals and their effects on four sentinel species, *Limanda limanda*, *Platichthys flesus*, *Nucella lapillus* and *Mytilus* sp., in Seine Bay: A key step towards applying biological effects to monitoring." *Marine Environmental Research* 124: 92-105.

Chiffolleau J.-F. 2017. La contamination chimique sur le littoral Loire-Bretagne. No. RST.RBE-BE/2017.02. Ifremer, Nantes.

Dauvin, J.-C., A. Raoux, J.-P. Pezy, N. Baux and N. Niquil (2020). *The Bay of Seine: A Resilient Socio-Eco-System Under Cumulative Pressures. Evolution of Marine Coastal Ecosystems under the Pressure of Global Changes*, Cham, Springer International Publishing.

Davies I.M. et Vethaak A.D. (2012) Integrated marine environmental monitoring of chemicals and their effects. ICES Cooperative Research Report No. 315. 277 pp.

Garric J., Morin S. et Vincent-Hubert F. (2010) Les biomarqueurs en écotoxicologie : définition, intérêt, limite et usage. *Sciences, Eaux et Territoires*, 1: 12-17. <https://www.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2010-1-page-12.htm>

Giltrap, M., J. Ronan, J. P. Bignell, B. P. Lyons, E. Collins, H. Rochford, B. McHugh, E. McGovern, L. Bull and J. Wilson (2017). "Integration of biological effects, fish histopathology and contaminant measurements for the assessment of fish health: A pilot application in Irish marine waters." *Marine Environmental Research* 129: 113-132.

Giltrap, M., J. Ronan, C. Tanner, F. X. O'Beirn, B. P. Lyons, R. Mag Aoidh, H. Rochford, B. McHugh, E. McGovern and J. Wilson (2016). "Application of a weight of evidence approach utilising biological effects, histopathology and contaminant levels to assess the health and pollution status of Irish blue mussels (*Mytilus edulis*)." *Marine Environmental Research* 122: 33-45.

Hylland, K., Skei, B.B., Brunborg, G., Lang, T., Gubbins, M.J., le Goff, J., Burgeot, T., 2017. DNA damage in dab (*Limanda limanda*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) from European seas. *Marine Environmental Research*, The ICON Project (the trans-European research project on field studies related to a large-scale sampling and monitoring 124, 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.01.001>

Ifremer/ODE/LITTORAL/LERBN-21-007/Laboratoire Environnement Ressources Bretagne Nord, (2021). Qualité du Milieu Marin Littoral. Bulletin de la surveillance 2020. Départements d'Ille et Vilaine et des Côtes d'Armor. Ifremer/ODE/LITTORAL/LERBN-21-007. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00742/85407/>

Lyons, B. P., J. P. Bignell, G. D. Stentiford, T. P. C. Bolam, H. S. Rumney, P. Bersuder, J. L. Barber, C. E. Askem, M. E. E. Nicolaus and T. Maes (2017). "Determining Good Environmental Status under the Marine Strategy Framework Directive: Case study for descriptor 8 (chemical contaminants)." *Marine Environmental Research* 124: 118-129.

Lyons, B. P., J. E. Thain, G. D. Stentiford, K. Hylland, I. M. Davies and A. D. Vethaak (2010). "Using biological effects tools to define Good Environmental Status under the European Union Marine Strategy Framework Directive." *Marine Pollution Bulletin* 60(10): 1647-1651.

Mary Charlotte, Françoise Sylvaine, Lamort Laure, Menet-Nedelec Florence, Lesaulnier Nadine, Normand Julien (2021). Qualité du Milieu Marin Littoral. Bulletin de la surveillance 2020. Départements : Seine Maritime, Eure, Calvados, Manche. ODE/LITTORAL/LERN /21.03. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00746/85823/>

Mauffret A., Chiffolleau Jean-François, Burgeot Thierry, Wessel Nathalie, Brun Mélanie (2018) Évaluation du descripteur 8 « Contaminants dans le milieu » en France Métropolitaine. Rapport Scientifique pour l'évaluation 2018 au titre de la DCSMM. 280 pp. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00461/57294/>

Date de modification : 17 novembre 2023

Contacts : Nathalie Wessel, Assistante RT, Ifremer, Nantes, nathalie.wessel@ifremer.fr
Aourell Mauffret, RT, Ifremer, Nantes, aourell.mauffret@ifremer.fr
Mélanie Brun, Biostatisticienne, Ifremer, Nantes, melanie.brun@ifremer.fr

Contributeur : Vincent Roubex, cadre de recherche, Ifremer, Nantes
Thierry Burgeot, cadre de recherche, Ifremer, Nantes

Mauffret A, Brun M, Bustamante P, Chauvelon T, Mendez-Fernandez P, Mille T, Poiriez G, Spitz J, Wessel N (2023) Évaluation du descripteur 8 « Contaminants dans le milieu marin » en France métropolitaine. Rapport scientifique pour l'évaluation cycle 3 au titre de la DCSMM. Ifremer RBE-CCEM / ODE-VIGIES. <https://doi.org/10.13155/97214>.

OSPAR (2012). JAMP Guidelines for Monitoring Contaminants in Biota (Agreement 1999-02, revised 2012).

Vethaak, A.D., Davies, I.M., Thain, J.E., Gubbins, M.J., Martínez-Gómez, C., Robinson, C.D., Moffat, C.F., Burgeot, T., Maes, T., Wosniok, W., Giltrap, M., Lang, T., Hylland, K., 2017. Integrated indicator framework and methodology for monitoring and assessment of hazardous substances and their effects in the marine environment. *Marine Environmental Research* 124, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.09.010>

SIG :

(2020) DCSMM - Sous régions marines (France). Agence française pour la biodiversité. <http://sextant.ifremer.fr/record/fed29b44-a074-4025-a23c-dfa59942f458/>

(2016) Contours géographiques terrestres des nouvelles régions (métropole). Modifié par AFB. <http://www.data.gouv.fr/fr/datasets/contours-geographiques-des-nouvelles-regions-metropole/>

(2016) GEOFLA®. IGN. Modifié par AFB <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/geofla-r>

(2017) Espaces terrestres (France et pays riverains). Agence française pour la biodiversité. <http://sextant.ifremer.fr/record/72f1a7de-e545-4bed-bdf7-489066a88d6c/>

(2014) Zones hydrographiques - Métropole 2014 - BD Carthage. Sandre. <http://www.sandre.eaufrance.fr/atlas/srv/fre/catalog.search#/metadata/67e5bc6c-016d-4037-83b6-2043e7972772>

(2016) Masses d'eau de transition - Métropole - Version Etat des Lieux 2013. Sandre. <http://www.sandre.eaufrance.fr/atlas/srv/fre/catalog.search#/metadata/663db9e8-8512-46aa-9c65-23c40b08da7d>

6 Droits, copyright et politique d'utilisation des données

Liste des éléments considérés par l'indicateur

Species name	Authority	Common name (EN)	AphiaID
<i>Mytilus edulis</i>	(Linnaeus, 1758)	Blue mussel	140480

Date de modification : 17 novembre 2023

Contacts : Nathalie Wessel, Assistante RT, Ifremer, Nantes, nathalie.wessel@ifremer.fr
 Aourell Mauffret, RT, Ifremer, Nantes, aourell.mauffret@ifremer.fr
 Mélanie Brun, Biostatisticienne, Ifremer, Nantes, melanie.brun@ifremer.fr

Contributeur : Vincent Roubex, cadre de recherche, Ifremer, Nantes
 Thierry Burgeot, cadre de recherche, Ifremer, Nantes