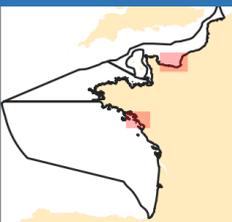


Etat de santé des poissons - Région marine Manche-Atlantique



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 poissons » 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 des espèces de poissons considérés, 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) :

- Absence de seuils pour différents couples d'espèce*biomarqueur.
- Besoin de nouveaux biomarqueurs pour couvrir différents modes d'actions des contaminants.
- Besoin d'outils d'intégration et d'agrégation des différents biomarqueurs, entre eux, et avec les concentrations en contaminants.
- Besoin de suivis pérennes, d'étendre la liste des espèces à d'autres espèces, présentes sur d'autres zones marines : évaluation 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 plus profondes de l'Océan, dans le cadre de l'évaluation du D8 de la DCSMM.

L'indicateur « Etat de santé des poissons » 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).

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

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 :

- 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 3 (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. La considération d'une nouvelle espèce de poisson plat. En 2018, l'évaluation de la contamination des poissons était basée sur les espèces analysées lors des projets ICON et BIOCO (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) : limande, flet et moule. Pour le cycle 3, la sole a été ajoutée car il s'agit d'une espèce d'intérêt pour la France. En effet, l'espèce est présente sur l'ensemble des côtes Françaises, a une valeur économique importante et, comme tous les poissons plats, présente un intérêt pour les études écotoxicologiques du fait de son mode de vie benthique, en contact avec le sédiment où de nombreux contaminants hydrophobes s'accumulent.
- iv. 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.
- v. L'utilisation de nouveaux biomarqueurs chez les poissons 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)), biomarqueur de neurotoxicité (AChE) et un biomarqueur d'exposition aux HAP (métabolites de HAP chez les poissons).
- vi. 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. les espèces des poissons (soles, flets, limandes), 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 les données utilisées lors de l'évaluation précédente ont été 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

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

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 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 poissons par rapport aux effets des contaminants chimiques, à travers des mesures de biomarqueurs sur des poissons plats. Les données proviennent de campagnes océanographiques organisées dans le cadre du Suivi des Effets bioLogiques Induits par la contamination chimique (SELI) en baie de Seine et autour des estuaires de la Loire et de la Vilaine. Deux unités marines de rapportage (UMR) sont considérées. Elles correspondent aux zones de prospection des campagnes SELISeine et SELILOire pour chacune des sous-régions marines (SRM) Manche-Mer du Nord (MMN) et Golfe de Gascogne Nord (GdG) respectivement.

Un indice multimétrique de santé des poissons a été développé pour combiner les résultats de six biomarqueurs mesurés sur un minimum de 8 individus par zone d'évaluation. Les valeurs de chaque biomarqueur 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 trois espèces de poisson plat : la sole (dans les deux UMR), le flet et la limande (dans l'UMR SELISeine uniquement).

La santé des poissons semble affectée par des effets cytotoxiques et neurotoxiques pour les 3 espèces, et génotoxiques pour la sole. La sole est l'espèce dont la santé apparait la plus dégradée et n'est en bon état dans aucune des deux UMR (note = 3,45 pour SELISeine et 3,53 pour SELILOire). Le flet est en bon état (note = 4,00) contrairement à la limande (note = 3,95) dans l'UMR SELISeine. Une évaluation intégrée de l'état de santé des différentes espèces au regard des paramètres écotoxicologiques et des concentrations en contaminants chimiques est discutée dans le rapport scientifique (Mauffret et al., 2023).

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

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.

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 poissons 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, 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 SRM 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 BIOCO 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.

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

L'indicateur « Etat de santé des poissons » 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.

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). Ce suivi 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).

Parmi les espèces étudiées en écotoxicologie, les poissons plats font l'objet d'un intérêt particulier du fait de leur mode de vie benthique, en contact avec le sédiment où de nombreux contaminants hydrophobes s'accumulent. Les poissons plats occupent des zones de nourriceries pendant leur croissance, puis les adultes se déplacent de façon saisonnière pour la reproduction, l'alimentation et l'hivernage. Ils constituent également une ressource alimentaire importante pour l'homme et sont à la base d'enjeux économiques importants (Walsh et al., 2015 ; SIH, 2022).

Trois espèces de poisson plat constituent les **éléments** évalués au sein de l'indicateur « santé des poissons » :

- la **sole** commune, *Solea solea* (Soléidés), espèce d'intérêt économique important en Atlantique, déjà étudiée dans plusieurs programmes nationaux de recherche et de surveillance, mais encore assez peu utilisée en France pour la surveillance écotoxicologique,
- le **flet**, *Platichthys flesus* (Pleuronectidés), une des espèces sentinelles recommandées par OSPAR pour la biosurveillance du milieu marin,
- la **limande**, *Limanda limanda* (Pleuronectidés), est un des poissons plats modèles pour les pays nordiques.

Ces trois espèces benthiques pleuronectiformes vivent sur des substrats meubles en contact avec le sédiment où de nombreux contaminants peuvent s'accumuler. Les adultes se nourrissent essentiellement de crustacés, vers et mollusques. Les poissons plats occupent des zones de nourriceries pendant leur croissance puis les adultes se déplacent de façon saisonnière pour la reproduction, l'alimentation et l'hivernage (Gibson et al., 2014). La maturité sexuelle est atteinte en général à 3-4 ans. La reproduction a lieu de janvier à avril. Le flet a un habitat estuarien et remonte souvent les cours d'eau. La limande vit plus à distance des côtes, en profondeur (>20 m). La sole a un habitat intermédiaire, fréquentant à la fois des eaux profondes (jusqu'à 200 m, surtout l'hiver) et des eaux plus estuariennes que la limande (Cariou et al., 2021, www.fishbase.de, Quérou, 1984).

Six biomarqueurs sont suivis chez chaque individu. Ils peuvent être regroupés en quatre catégories selon le type d'information qu'ils fournissent sur la santé des organismes :

- effets cytotoxiques : mesure de la **stabilité de la membrane lysosomale**,

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

- 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**,
- exposition aux HAP : mesure des **concentrations biliaires en métabolites hydroxylés de HAP**, plus précisément, celles du 1-hydroxy-pyrène (1-OH-pyrène) et celles des métabolites du phénanthrène (OH-phénanthrène) (=2 paramètres).

Ces biomarqueurs font partie des méthodes de suivi écotoxicologique des poissons 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 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.

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.

Chez les poissons, les HAP sont biotransformés en métabolites responsables de la toxicité imputée aux composés parents. Les concentrations des métabolites hydroxylés issus de la dégradation peuvent être mesurées dans la bile et constituent un biomarqueur d'exposition récente aux HAP. Les métabolites hydroxylés du pyrène et du phénanthrène sont les plus utilisés.

2 Méthode

2.1 Echelles spatiales

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 à proximité des estuaires de la Loire et de la Vilaine pour le Golfe de Gascogne (SELILoire). Ces UMR correspondent à des zones d'apport de contaminants par les fleuves. Elles incluent des nourriceries importantes pour les poissons plats et notamment pour la sole (*Solea solea*) et la limande (*Limanda limanda*) (Riou et al., 2001, Le Pape et al., 2003, Le Pape et al., 2007, Cariou et al., 2021). Chaque UMR représente en surface une partie limitée des SRM correspondantes.

2.1.2 Echelle géographique d'évaluation

L'unité géographique d'évaluation (**EGE**) est la **zone de pêche** qui représente un ensemble de traits de chaluts rapprochés. L'UMR SELISeine est composée de quatre EGE : à l'embouchure de la Seine (S1), plus au large dans la baie de Seine (S3-4), au sud près de Ouistreham et de l'embouchure de l'Orne (S5) et au nord de l'embouchure, près de la côte (S6) (Figure 2). On distingue 8 EGE dans l'UMR SELILoire (Figure 1) : trois en baie de Vilaine (V1, V2 et V3), trois au large de la Loire (L1, L2 et L3), une près de la pointe du Croisic (PTCR) et une dernière, plus au large, au sud-est de Belle-île-en-mer (PITO).

Tableau 1. Organisation spatiale de l'évaluation de la santé des poissons aux différentes échelles d'évaluation et répartition des éléments évalués.

SRM	UMR	EGE	Espèce évaluée
Manche- Mer du Nord (MMN)	Zone de prospection de la campagne SELISeine	S1	Sole, flet
		S3-4	Sole, limande
		S5	Sole, flet
		S6	Sole, limande
Golfe de Gascogne (GdG)	Zone de prospection de la campagne SELILoire	V1	Sole
		V2	Sole
		V3	Sole
		PITO	Sole
		PTCR	Sole
		L1	Sole
		L2	Sole
		L3	Sole

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 deux 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 :

- 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 2017 et en 2020 sur une même EGE ont été combinés pour l'évaluation de ce cycle. Le faible effectif de poissons pêchés lors de la campagne SELILoire 2017 a nécessité la contribution de pêcheurs professionnels de manière à compléter l'échantillonnage de soles dans les EGE L1 et V2.

- 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 EGE, des poissons ont été pêchés au chalut en ciblant par la longueur (22-30 cm) des individus dans la tranche d'âge 2-3 ans. Un biomarqueur est évalué dans une EGE s'il a été mesuré sur 8 individus ou plus.

Les six biomarqueurs cités ci-dessus 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 EGE** et est considérée pour déterminer une note à chaque paramètre (Figure 1).

La méthode d'intégration et d'agrégation des notes de chaque triplet espèce*biomarqueur*EGE est décrite dans la Figure 1. Les poids de chaque paramètre dans la moyenne pondérée sont présentés dans le Tableau 2.

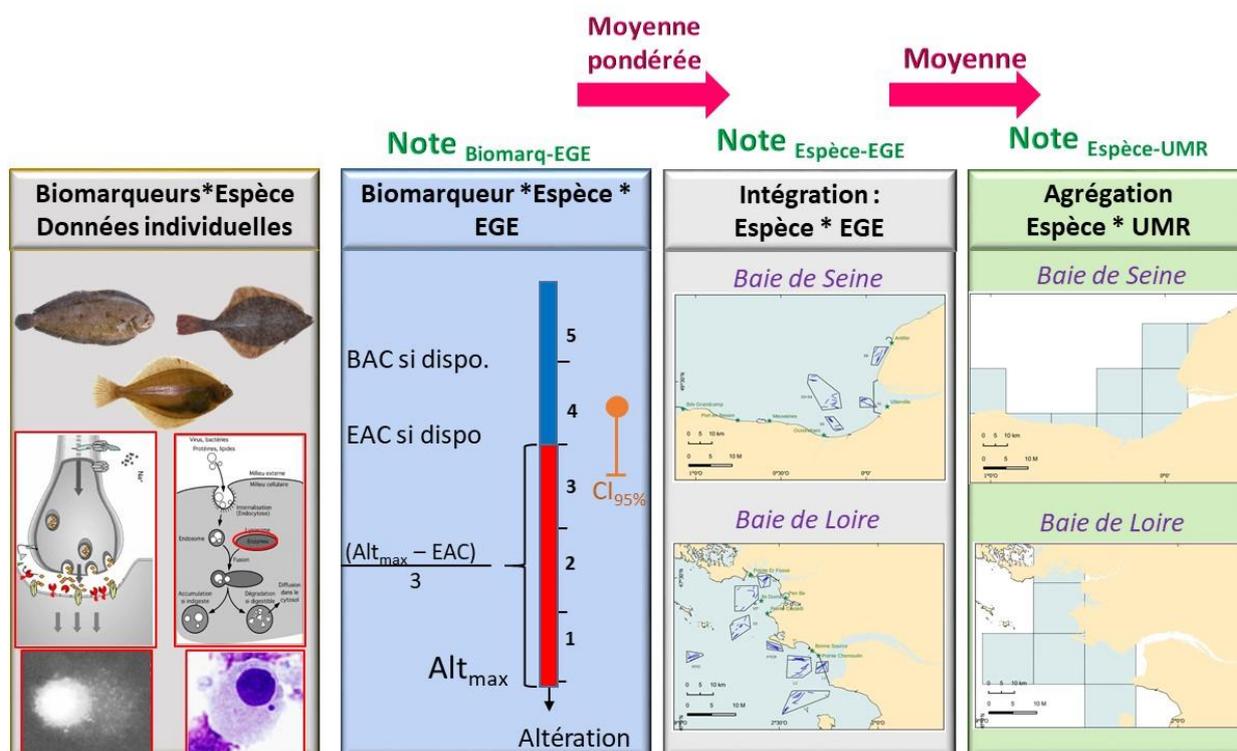


Figure 1. Etapes de l'évaluation de la santé des poissons (D8C2). La station d'échantillonnage correspond à l'EGE.

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.

Les couples espèce*biomarqueur ne disposent pas tous actuellement de seuil EAC validé internationalement. Suivant les cas, des seuils alternatifs ont été utilisés :

- 1- Des données et des publications scientifiques sont disponibles. Dans ce cas, des seuils de référence (équivalents au BAC) et des valeurs d'altération maximale (Alt_{max}) ont été établis sur la base de données disponibles, complétées par une analyse bibliographique et du dire d'experts.
- 2- Manque de données et/ou de publications sur l'espèce considérée, mais seuils disponibles chez une autre espèce de poisson plat. Dans ce cas, le seuil disponible est utilisé. C'est le cas des métabolites biliaires de HAP, pour lesquels un seuil développé chez la morue a été appliqué.

Le Tableau 2 présente les limites de classes définies pour chaque biomarqueur et chaque espèce ainsi que les seuils internationaux utilisés pour les établir. La limite entre les classes 3 et 4, constitue le **seuil d'atteinte** de chaque biomarqueur. De ce fait, la valeur seuil pour la note de l'espèce a été fixée à **4,00**. Une note strictement inférieure à 4,00 classe l'espèce dans l'état mauvais.

Tableau 2. Seuils et limites de classes des biomarqueurs. 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 d'altération maximale théorique (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	Poids dans la note	Unité	Sens d'altération ¹	Espèce	Limites de classes (Notes)				Alt _{max}
					5-4	4-3	3-2	2-1	
LMS	1	min	↘	Sole					2
				Limande	20	10	7,3	4,7	
				Flet					
AChE	1	nmol/min/mg prot	↘	Sole	150 ⁵	105 ⁵	48	22	10 ²
				Limande	150	105			
				Flet	235	165	65	25	
Comet	1	% ADN queue	↗	Sole	19 ³	25	31	37	43 ³
				Limande					
				Flet					
MN	1	‰	↗	Sole	0,4 ³	1,3	2,1	3,0	3,8 ³
				Limande	0,5	1,3	2,2	3,0	
				Flet	0,3	1,2	2,1	2,9	
OH-Pyr	0,5	ng/g de bile	↗	Sole	16 ⁵	483 ⁵	1000	2000	4000 ⁴
				Limande					
				Flet					
OH-Phe	0,5	ng/g de bile	↗	Sole	3,7 ⁵	528 ⁵	1000	2000	4000 ⁴
				Limande					
				Flet					

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

² Minimum estimé sur échelle logarithmique (>0)

³ Valeurs estimées à partir d'une étude bibliographique

⁴ Un facteur 2 détermine la limite suivante à partir de l'EAC

⁵ Valeur estimées pour d'autres espèces : les BAC et EAC développés pour l'AChE chez la limande sont appliqués à la sole, les BAC et EAC pour les métabolites de HAP, développés respectivement chez la limande et la morue sont appliqués aux 3 espèces de poissons plats.

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 six biomarqueurs. L'évaluation du critère pour cet élément est basée sur la moyenne pondérée de ces notes. Les poids des biomarqueurs sont égaux à 1 sauf ceux des métabolites biliaires de HAP qui valent 0,5 chacun (Tableau 2) car ce sont des paramètres représentant les effets d'une même famille de contaminants mesurés dans une même matrice.

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 poissons		
Critère associé	D8C2 - Effets des contaminants sur les espèces et les habitats		
Source de l'évaluation de l'indicateur	Nationale		
Élément (s) considéré (s)	Sole (<i>Solea solea</i>) Limande (<i>Limanda limanda</i>) Flet (<i>Platichthys flesus</i>)		
Unités marines de rapportage	SRM MMN	SRM MC	SRM GdG
	Zone de prospection de la campagne SELISeine		Zone de prospection de la campagne SELILOire
Echelle géographique d'évaluation	Zone de pêche regroupant plusieurs traits de chalut		
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.</p> <p>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 dans l'EGE (Note_{Esp-Biom-EGE}) : classe de valeurs du paramètre (de 1 à 5, cf Tableau 2) déterminée par l'intervalle de confiance de la moyenne, - note de l'espèce dans l'EGE (Note_{Esp-EGE}) : moyenne pondérée des notes des six 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 EGE pour une espèce dans une UMR (agrégation spatiale des EGE pour une espèce dans une UMR). 		
Paramètre	Stabilité de la membrane lysosomale (LMS) Inhibition de l'acétylcholine estérase (AChE) Niveau de cassures des brins d'ADN (Comet) Prévalence des micronoyaux (MN) Concentration biliaire en métabolites du pyrène (OH-Pyr) Concentration biliaire en métabolites du phénanthrène (OH-Phe)		
Unité de mesure	LMS : min AChE : nmol/min/mg prot Comet : % ADN dans la queue MN : ‰ OH-Pyr : ng/g de bile OH-Phe : ng/g de bile Note : sans unité		
Sources des seuils	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 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 (S,F,L): 10 min (EAC) AChE (S,L): 105 nmol/min/mg prot (EAC) AChE (F): 165 nmol/min/mg prot (EAC) Comet (S,L,F): 25 % ADN dans la queue		

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

	MN (S, L) : 1,3 ‰ MN (F) : 1,2 ‰ OH-Pyr (S,F,L) : 483 ng/g de bile (EAC) OH-Phe (S,F,L) : 528 ng/g de bile (EAC) (S=sole ; L=limande ; F=flet) 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 Quadrigé ²	
Années considérées	2018	2017 & 2020

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-intermediare-2017/introduction/processus-et-methodes-devaluation/>). Différentes sources d'incertitude sont détaillées dans le Rapport scientifique (Mauffret et al., 2023).

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). • 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	La méthodologie d'évaluation pourrait bénéficier de certains développements supplémentaires pour les futures évaluations, par exemple : <ul style="list-style-type: none"> • La méthodologie présentée est utilisée pour évaluer la santé des poissons 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

Pour la sole, les notes_{espèce-biomarqueur-EGE} pour la LMS et l'ACHe sont $\leq 3,00$ dans toutes les EGE (Loire et Seine) suggérant une santé générale impactée avec des effets neurotoxiques. Les notes_{espèce-biomarqueur-EGE} liées aux réponses du test des Comet sont $\leq 3,00$ dans 7 sur 16 couples espèce*EGE évalués en Seine et Loire, ce qui indique des effets génotoxiques dans ces EGE. Il en résulte que la note_{espèce-EGE} de l'espèce est inférieure au seuil de bon état dans toutes les EGE considérées sauf à PITO qui est l'EGE la plus au large. Le statut de la **sole** (note_{espèce-UMR}) est en conséquence **mauvais** dans les deux UMR avec des notes égales à 3,45 (SELISeine) et 3,53 (SELILoire). Dans l'UMR SELILoire, la note de la sole est la plus basse dans l'EGE V3, au large de l'estuaire de la Vilaine, et elle est plus élevée à PITO, qui est la station la plus au large.

Pour le flet et la limande, on constate comme pour la sole, des impacts sur la santé par la LMS et des effets neurotoxiques par l'ACHe, mais des effets génotoxiques plus modérés que pour la sole. Chacune de ces 2 espèces (note_{espèce-UGE}) est en mauvais état dans les UGE les plus à l'est (Antifer pour la limande et Embouchure de la Seine pour le flet) et sont en bon état dans les UGE à l'Ouest (S3+S4 au large pour la limande et S5 proche de Ouistreham pour le flet) suggérant un niveau de contamination qui baisse avec la distance à l'embouchure ou à la côte Est de la Baie. L'agrégation à l'échelle de l'UMR (note_{espèce-UMR}) résulte en un bon état du flet et un mauvais état de la limande.

3.1.2 Illustrations de l'évaluation

A : UMR SELISEine

B : UMR SELILOire

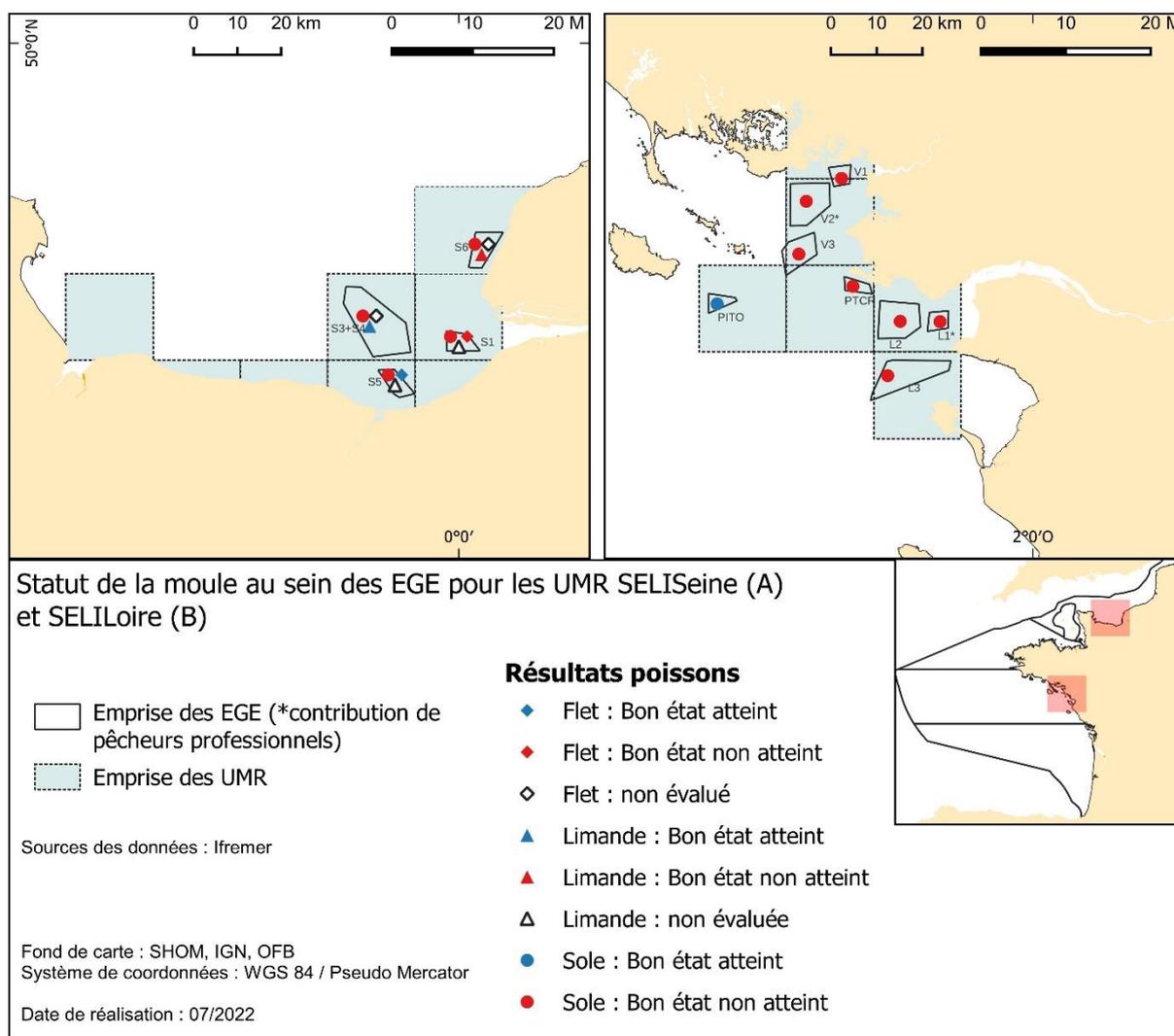


Figure 2. Evaluation par espèce et EGE pour les UMR des SRM Manche-Mer du Nord (A) et Golfe de Gascogne (B) (note_{espèce-EGE}, données 2017, 2018 et 2020). Les mailles géographiques couvrent l'ensemble de la zone de prospection des campagnes SELI (poisson et moule).

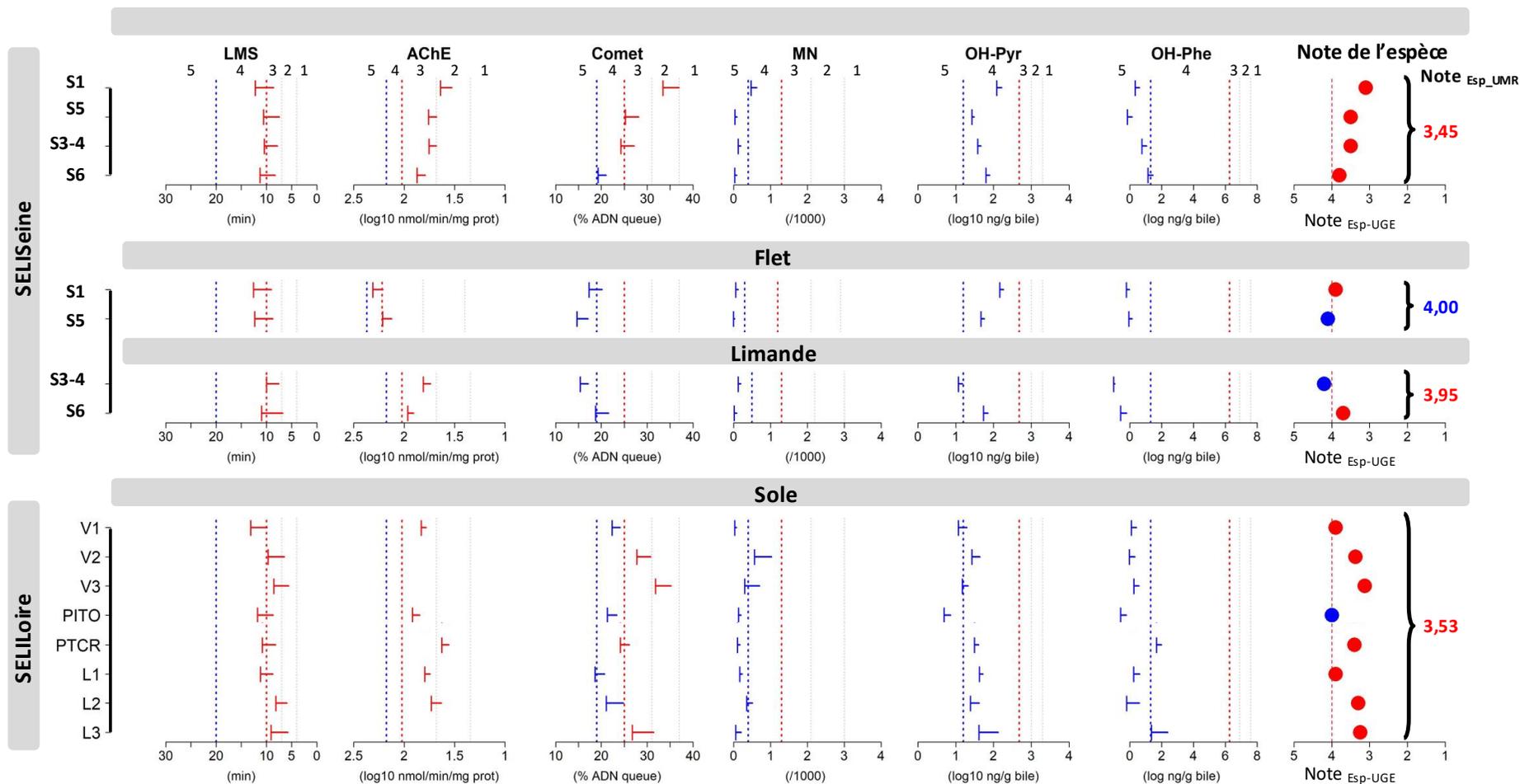


Figure 3. Evaluation des six biomarqueurs et notes pour les espèces sole, flet et limande, à l'échelle des EGE ($Note_{Esp-UGE}$) et des UMR ($Note_{Esp-UMR}$). Symbologie de chaque biomarqueur (|): les traits verticaux et horizontaux correspondent respectivement à la moyenne et à l'intervalle de confiance 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 ($Note_{Esp-UGE}$), les lignes verticales en trait discontinu rouges indiquent le seuil de bon état pour le critère D8C2 pour chaque élément.

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 Tableau des résultats

Tableau 4. Notes des trois espèces dans chaque EGE et UMR. La couleur rouge indique des notes inférieures au seuil de bon état du critère D8C2 pour l'élément (4,00) et la couleur bleue, des notes supérieures ou égales à ce seuil.

UMR	EGE	Espèce					
		Sole		Flet		Limande	
		Note Elém_EGE	Note Elém_UMR	Note Elém_EGE	Note Elém_UMR	Note Elém_EGE	Note Elém_UMR
SELISeine	S1	3,10	3,45	3,90	4,00	4,20	3,95
	S5	3,50		4,10			
	S3-4	3,40					
	S6	3,80					
SELILoire	V1	3,90	3,53				
	V2	3,38					
	V3	3,12					
	PITO	4,00					
	PTCR	3,40					
	L1	3,90					
	L3	3,25					

3.1.3.1 Résultats de l'évaluation au niveau des biomarqueurs

LMS : Ce paramètre de cytotoxicité dépasse le seuil EAC dans toutes les EGE quelle que soit l'espèce considérée. Les notes les plus faibles (les plus impactées) sont obtenues par la sole au large de la Loire et de la Vilaine. Les résultats de LMS marquent une santé dégradée des poissons quelle que soit l'espèce et la zone de pêche.

ACHe : le seuil EAC est également dépassé dans toutes les EGE des deux UMR et pour les trois espèces ($note_{Esp-Biom-EGE} \leq 3,00$). Dans la baie de Seine, ce biomarqueur présente des niveaux moins altérés pour le flet et la limande que pour la sole.

Comet : les résultats sont très variables pour ce biomarqueur avec des $note_{Esp-Biom-EGE}$ allant de 2,00 à 5,00. Les valeurs maximales (les plus impactées) du biomarqueur sont rencontrées pour la sole près de l'estuaire de la Seine (S1) et au large dans la baie de Vilaine (V3).

MN : La fréquence des micronoyaux est généralement basse. Elle ne dépasse pas le seuil d'atteinte du paramètre dans aucune EGE.

OH-Pyr : Les concentrations du métabolite du pyrène dans la bile ne dépassent pas l'EAC et sont maximales dans l'estuaire de la Seine (S1) pour la sole et le flet. La valeur minimale est obtenue dans l'EGE PITO.

OH-Phe : Les concentrations des métabolites du phénanthrène restent faibles par rapport au seuil EAC et ne sont pas déclassantes pour la santé des poissons. On note des valeurs maximales pour la sole dans les EGE PTCR et L3.

3.1.3.2 Résultats de l'évaluation au niveau des éléments

Sole : dans les 4 EGE de l'UMR SELISeine, la sole n'est pas en bon état. Un gradient semble être observé avec la note la plus faible obtenue à proximité de l'estuaire. Dans 7 des 8 EGE de l'UMR SELILoire, la sole n'est pas en bon état. Par contre, la sole semble en bon état dans l'EGE la plus au large (PITO).

Flet : dans l'UMR SELISeine, le flet est en bon état. La note_{Esp-EGE} la plus faible est observée à proximité de l'estuaire de Seine (EGE S1).

Limande : dans l'UMR SELISeine, la limande est en bon état dans l'EGE la plus au large (S3-S4 ; 4,20) mais dans l'EGE à l'Est (S6 ; 3,70). La limande n'est pas en bon état à l'échelle de l'UMR SELISeine.

3.1.3.3 Comparaison entre espèce

Trois espèces sont évaluées dans l'UMR SELISeine. Pour chacune des espèces, des effets cytotoxique et neurotoxique semblent observés. De plus, pour la sole, le niveau de cassures de brins de l'ADN dépasse le seuil pour trois EGE sur les quatre suivies. La prévalence de micronoyaux et les concentrations en métabolites de HAP ne dépassent pas les seuils (classe 4-3) pour les 3 espèces dans l'UMR SELISeine.

Tableau 5. Résultats détaillés de l'évaluation pour la Manche- Mer du Nord (SéliSeine). La couleur rouge indique des notes inférieures au seuil de bon état de l'élément (4,00) et la couleur bleue, des notes supérieures ou égales à ce seuil.

SRM	UMR	EGE	Seuil d'atteinte	Paramètre	LMS	ACHÉ	Comet	MN	OH-Pyr	OH-Phe	Note _{Esp-EGE}	Note _{Esp-UMR}	Espèce		
				Unité	min	nmol/min/mg prot	% ADN queue	%	ng/g de bile	ng/g de bile			Statut (Seuil = 4,0)	EGE	UMR
														Sole	
Manche- Mer du Nord	SELISeine	Z1	n	18	18	16	17	17	17	17	3,10	3,45	Mauvais	Mauvais	
			Valeur atteinte	8,58	33,70	36,95	0,63	165,76	1,82						
			min-max	8,50 - 17,50	11,38 - 109,55	14,21 - 45,49	0,00 - 4,00	34,70 - 381,64	0,4 - 4,24						
		Note _{Esp-Biom-EGE}	3	2	2	4	4	5	3,40	Mauvais					
		n	18	23	22	23	23	23							
		Valeur atteinte	7,45	47,55	28,13	0,09	30,51	1,15							
	min-max	4,50 - 15,00	12,38 - 129,48	9,18 - 40,50	0,00 - 1,00	15,04 - 54,29	0,40 - 3,13	3,80	Mauvais						
	Note _{Esp-Biom-EGE}	3	2	3	5	4	5								
	n	29	30	28	30	29	29								
	Valeur atteinte	7,85	47,93	27,17	0,19	46,12	2,86	3,90	Mauvais						
	min-max	5,50 - 15,00	21,60 - 139,06	13,04 - 47,49	0,00 - 1,20	14,92 - 129,69	0,10 - 12,30								
	Note _{Esp-Biom-EGE}	3	2	3	5	4	4								
n	24	24	23	25	25	25	4,10	Bon							
Valeur atteinte	8,27	61,70	21,04	0,08	79,19	4,29									
min-max	7,00 - 22,50	29,59 - 173,13	11,33 - 28,79	0,00 - 0,40	11,86 - 168,38	0,40 - 19,39									
Note _{Esp-Biom-EGE}	3	3	4	5	4	4	Flet								
SELISeine	Z1	n	21	21	20	21	21	21	21	21	3,90	4,00	Mauvais	Bon	
		Valeur atteinte	9,03	162,14	20,16	0,13	184,17	0,96							
		min-max	4,00 - 37,50	57,43 - 506,60	8,49 - 33,09	0,00 - 1,20	55,43 - 400,06	0,40 - 1,78							
	Note _{Esp-Biom-EGE}	3	3	4	5	4	5	4,10	Bon						
	n	19	20	19	20	19	19								
	Valeur atteinte	8,75	133,17	17,10	0,03	57,33	1,16								
min-max	3,00 - 27,50	54,48 - 360,41	8,69 - 28,83	0,00 - 0,00	15,62 - 112,52	0,40 - 2,45	4,20	Bon							
Note _{Esp-Biom-EGE}	3	3	5	5	4	5									
n	31	34	29	34	24	24									
Valeur atteinte	7,57	54,65	17,16	0,19	15,23	0,39	3,95	Mauvais							
min-max	3,50 - 30,00	20,71 - 238,29	7,91 - 34,60	0,00 - 2,80	2,00 - 78,23	0,36 - 0,52									
Note _{Esp-Biom-EGE}	3	3	5	5	5	5									
n	9	15	15	15	14	14	3,70	Mauvais							
Valeur atteinte	6,81	80,66	21,59	0,08	70,76	0,81									
min-max	3,50 - 20,00	49,88 - 130,52	10,81 - 30,45	0,00 - 0,02	13,97 - 109,15	0,40 - 2,08									
Note _{Esp-Biom-EGE}	2	3	4	5	4	5	Limande								

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

Tableau 6. Résultats détaillés de l'évaluation pour le Golfe de Gascogne (SélioLoire). La couleur rouge indique des notes inférieures au seuil de bon état de l'élément (4,0) et la couleur bleue, des notes supérieures ou égales à ce seuil.

Paramètre	Unité	LMS	ACHé	Comet	MN	OH-Pyr	OH-Phe	Espèce			
		min	nmol/min/mg prot	% ADN queue	%	ng/g de bile	ng/g de bile				
SRM UMR EGE	Seuil d'atteinte	> 10	> 105 (165 F)	< 25	< 1,3 (1,2 F)	< 423	< 528	Statut (Seuil = 4,0) EGE UMR			
Sole											
Golfe de Gascogne SELLOIRE	V1	n	29	24	26	30	23	23	3,90	Mauvais	
	Valeur atteinte	9,87	60,80	24,08	0,08	19,84	1,51				
	min-max	8,50 - 21,30	33,44 - 134,40	10,63 - 30,54	0,00 - 0,46	1,00 - 99,4	0,20 - 4,74				
		Note _{Esp-Biom-EGE}	3	3	4	5	4	5			
	V2	n	13		10	14	14	14		3,38	Mauvais
	Valeur atteinte	6,44	nd	30,75	1,03	43,64	1,37				
	min-max	4,50 - 12,50	nd	21,97 - 36,74	0,00 - 5,00	3,00 - 120,65	0,86 - 3,48				
		Note _{Esp-Biom-EGE}	2	nd	3	4	4	5			
	V3	n	12		10	13	21	21		3,12	Mauvais
	Valeur atteinte	5,59	nd	35,21	0,70	21,42	1,77				
	min-max	6,00 - 10,80	nd	24,23 - 38,86	0,00 - 2,00	2,74 - 52,05	0,68 - 5,95				
		Note _{Esp-Biom-EGE}	2	nd	2	4	4	5			
	PITO	n	25	25	25	30	12	12		3,53	Bon
	Valeur atteinte	8,68	70,11	23,36	0,20	7,30	0,81				
	min-max	6,50 - 16,30	25,11 - 223,90	10,95 - 31,53	0,00 - 1,40	2,09 - 30,87	0,20 - 1,65				
		Note _{Esp-Biom-EGE}	3	3	4	5	5	5			
	PTCR	n	30	30	25	30	21	21		3,40	Mauvais
	Valeur atteinte	8,18	35,99	26,13	0,17	40,76	7,34				
min-max	6,00 - 20,00	21,60 - 197,41	15,47 - 38,77	0,00 - 1,00	8,31 - 111,67	0,20 - 21,64					
	Note _{Esp-Biom-EGE}	3	2	3	5	4	4				
L1	n	39	29	36	43	31	31		3,90	Mauvais	
Valeur atteinte	8,72	55,49	20,72	0,24	52,26	1,86					
min-max	4,00 - 20,00	33,33 - 122,73	7,58 - 34,93	0,00 - 1,32	12,40 - 140,47	0,46 - 12,57					
	Note _{Esp-Biom-EGE}	3	3	4	5	4	5				
L2	n	23	10	24	26	27	27		3,30	Mauvais	
Valeur atteinte	5,94	42,79	24,79	0,51	41,80	1,81					
min-max	4,00 - 13,80	32,71 - 97,83	9,28 - 44,15	0,00 - 5,90	1,00 - 2042,69	0,20 - 107,9					
	Note _{Esp-Biom-EGE}	2	2	4	4	4	5				
L3	n	10		10	10	14	8		3,25	Mauvais	
Valeur atteinte	5,76	nd	31,42	0,21	132,67	10,83					
min-max	7,00 - 15,00	nd	10,28 - 36,37	0,00 - 0,33	3,00 - 916,89	1,31 - 97,86					
	Note _{Esp-Biom-EGE}	2	nd	2	5	4	4				

3.1.4 Tendances

Non pertinent

4 Comparaison avec la précédente évaluation

Au cycle précédent, des mesures de biomarqueurs ont été réalisées sur des individus de flet et limande provenant de la baie de Seine, au niveau des EGE S1 et S3-4 (Mauffret et al., 2018). Les résultats concernant les paramètres communs aux deux cycles ont été comparés en regroupant pour chaque cycle tous les poissons d'une même espèce et en appliquant la même méthodologie que celle proposée dans cette fiche (Figure 4). L'évolution ne peut pas être caractérisée simplement de manière globale car elle dépend des paramètres considérés. Ainsi, entre les cycles 2 et 3 on remarque chez les deux espèces, une augmentation de l'effet neurotoxique, exprimé par une inhibition plus forte de l'ACHé, et une diminution des effets génotoxiques exprimés par les biomarqueurs MN et Comet (pour le flet).

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

Il faut noter que le seuil d'atteinte du paramètre AChE n'était pas dépassé au cycle précédent alors qu'il l'était dans toutes les EGE du cycle présent.

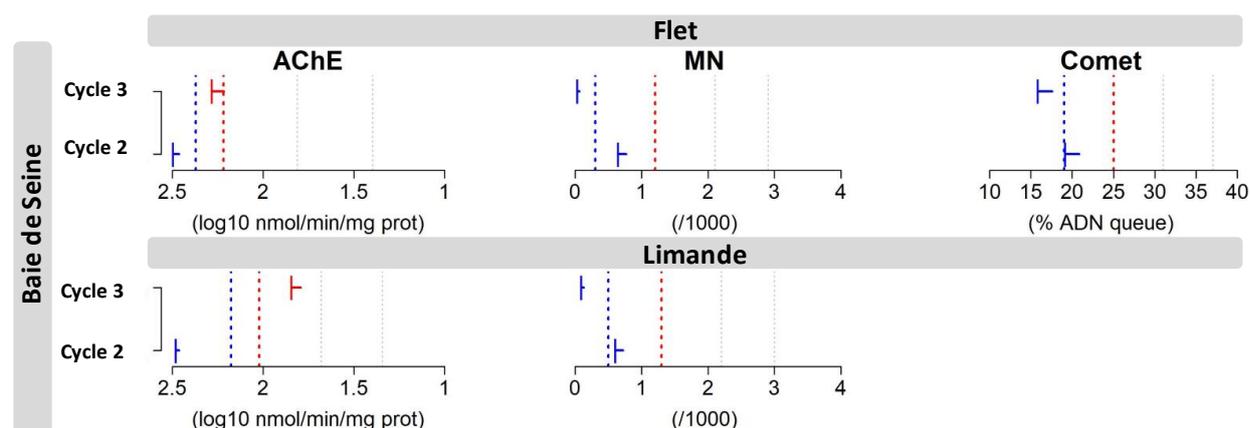


Figure 4. Comparaison des résultats entre le cycle précédent (Cycle 2, 2018) et le cycle présent (Cycle 3, 2024) pour le flet et la limande en baie de Seine. Pour chaque biomarqueur (—): Les traits verticaux correspondent aux moyennes et la barre d'erreur à l'intervalle de confiance unilatéral à 95 %. Les lignes verticales en pointillés bleus et rouges indiquent les limites entre les notes 5-4 et 4-3, respectivement. Les lignes grises indiquent les limites entre les notes suivantes.

5 Références bibliographiques

Akcha, F., F. Vincent Hubert and A. Pfohl-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/>

Bragigand V., Amiard-Triquet C., Parlier E., Boury P., Marchand P. et 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.

Cariou T., Dubroca L., Vogel C., et Bez N. (2021) Comparison of the spatiotemporal distribution of three flatfish species in the Seine estuary nursery grounds. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 259 <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107471>.

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

Dauvin J.-C., Raoux A., Pezy J.-P., Baux N., Niquil N. (2020) The Bay of Seine: A Resilient Socio-Eco-System Under Cumulative Pressures. In *Evolution of Marine Coastal Ecosystems under the Pressure of Global Changes*. H.-J. Ceccaldi, Y. Hénocque, T. Komatsu, P. Prouzet, B. Sautour, and J. Yoshida (eds.), pp. 95–109. Springer International Publishing, Cham.

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

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>

Gibson, R. N., A. W. Stoner and C. H. Ryer (2014). The behaviour of flatfishes. *Flatfishes*: 314-345.

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.

Le Pape, O., F. Chauvet, S. Mahévas, P. Lazure, D. Guérault and Y. Désaunay (2003). "Quantitative description of habitat suitability for the juvenile common sole (*Solea solea*, L.) in the Bay of Biscay (France) and the contribution of different habitats to the adult population." *Journal of Sea Research* 50(2): 139-149.

Le Pape, O., C. Gilliers, P. Riou, J. Morin, R. Amara and Y. Desaunay (2007). "Convergent signs of degradation in both the capacity and the quality of an essential fish habitat: state of the Seine estuary (France) flatfish nurseries." *Hydrobiologia* 588: 225-229.

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 J.-F., Burgeot T., Wessel N. et Brun M. (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/>

Mauffret A, Brun M, Bustamante P, Chouvelon 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).

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

Quéro J.C. (1984) Les poissons de mer des pêches françaises. Jacques Grancher, Paris, 394 pp.

Riou, P., O. Le Pape and S. I. Rogers (2001). "Relative contributions of different sole and plaice nurseries to the adult population in the Eastern Channel: application of a combined method using generalized linear models and a geographic information system." *Aquatic Living Resources* 14(2): 125-135.

SIH, 2022. Synthèse des flottilles de pêche - Flotte de la façade Mer du Nord - Manche - Atlantique, 2021.

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>

Walsh, S.J., Astarloa, J.M.D. de, Poos, J.J., 2015. Atlantic flatfish fisheries, in: *Flatfishes: Biology and Exploitation*, 2nd Edition. pp. 346–394. <https://doi.org/10.1002/9781118501153.ch13>

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	Habitats Directive code
<i>Platichthys flesus</i>	(Linnaeus, 1758)	European flounder	127141	5788
<i>Limanda limanda</i>	(Linnaeus, 1758)	Dab	127139	
<i>Solea solea</i>	(Linnaeus, 1758)	Sole	127160	

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