

**Direction départementale des territoires et de la mer du  
Morbihan  
Service eau, biodiversité et risques  
Pôle eau  
1 allée du Général Le Troadec  
BP 520  
56019 Vannes Cedex**

Lorient, le 7 mars 2025

**Objet : Expertise de l'Ifremer concernant les phénomènes de dégrappage  
massif observés sur les élevages de moules de filières à Groix au  
début de l'été 2024**

N/Réf. : N° Expertise 24-071 - LER/MPL/25.04/Lo

V/Réf. : courrier du 15/10/2024

Annexe : Expertise de l'Ifremer

*Affaire suivie par : Rémi Buchet (coordination), Emmanuelle Autret, Audrey  
Barranger, Christian Béchemin, Guillaume Charria, Céline Garcia, Anne Grouhel,  
Antoine Huguet, Florence Menet, Julien Normand, Michaël Retho*

Madame, Monsieur,

A compter de la fin du mois de juin 2024, [ ] producteurs de moules sur l'île de Groix, ont constaté sur leur parc de production des phénomènes de dégrappage massif associés à un affaiblissement du byssus des moules adultes, une taille moyenne des individus<sup>1</sup>, ainsi qu'un taux de chair anormalement bas<sup>2</sup>.

Par ailleurs, les producteurs concernés ont également relevé à la même période la quasi-absence des naissains qui avaient été captés en mars/avril sur les collecteurs, alors que le site est décrit comme habituellement très productif.

Suite à ces constats, le réseau REPAMO a été saisi le 2 août 2024 et des prélèvements pour rechercher les agents infectieux potentiels ont été effectués le 5 août 2024.

Par courrier en date du 15 octobre 2024, vous avez sollicité l'Ifremer afin de recueillir l'expertise de l'institut pour identifier les causes possibles de ces phénomènes.

Vous souhaitiez ainsi (i) que soient identifiés les effets potentiels des opérations de clapage du site d'immersion de Groix, et plus particulièrement de certains contaminants chimiques (HAP, PCB et métaux), sur la population de moules et leur développement, (ii) savoir si des organismes pathogènes peuvent être à l'origine de tels phénomènes, et (iii) si des conditions météo-océaniques de l'automne-hiver-printemps 2023-2024 pouvaient en être la cause.

<sup>1</sup> Des tailles de « 3 à 4 cm contre 7 à 9 cm » sont évoquées dans la saisine

<sup>2</sup> Les taux de chair relatés étaient « inférieurs à 15%, contre 30 à 35% » [habituellement à cette période de l'année]

Le document en annexe de ce courrier a pour objectif de porter à votre connaissance les éléments d'expertise que l'Ifremer est à ce jour en mesure d'apporter en réponse à votre demande.

Cette expertise a été réalisée conformément au processus interne à l'Ifremer (« produire des expertises et avis ») certifié ISO-9001, et selon la charte de l'expertise et de l'avis de l'Ifremer. Les experts ayant réalisé l'expertise ont confirmé l'absence de liens d'intérêt avec le demandeur et le sujet de la demande. La V6.3.1. de l'instruction I9-02 (Guide) intègre cette modification.

***Par ailleurs, dans le cadre de la certification ISO9001 de l'Ifremer, nous vous demandons de bien vouloir porter votre appréciation sur ce document en renseignant la fiche d'évaluation à partir du formulaire en ligne: <http://forms.ifremer.fr/qualite-ifremer/expertise-et-avis/?ref=24071>***

Pour le Président-Directeur Général et par délégation,

Responsable de la station de Lorient du Centre de Bretagne

Copie :

- Direction Générale de l'Ifremer,
- Direction du Centre de Bretagne de l'Ifremer,
- Direction de l'unité COAST de l'Ifremer,
- Direction de la station Ifremer de Lorient.

**Institut français de recherche  
pour l'exploitation de la mer**  
Établissement public à caractère  
industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
BP 30535 - 8 rue François Toullec  
56105 Lorient – France  
+33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
29280 Plouzané, France  
+33 (0)2 98 22 40 40

RCS      Brest B 330 715 368  
APE      7219 Z  
SIRET    330 715 368 00032  
TVA      FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)

## 1. Etat de l'art des connaissances sur les phénomènes de mortalités et dégrappages de moules observés

Des épisodes de mortalité, affectant des filières mytilicoles et débouchant sur des pertes importantes en élevage, ont été observés dans différents contextes au Canada, et sur la côte est des Etats-Unis d'Amérique depuis 1975 (Myrand *et al.*, 2000).

En France, l'accumulation de témoignages depuis une décennie semble indiquer une recrudescence d'épisodes de mortalité à la fois dans les élevages (Charles *et al.*, 2020, Bouras *et al.*, 2023, Cheik *et al.*, 2024) et sur les populations naturelles (Seuront *et al.*, 2019). Des épisodes de mortalités massives ont également été rapportés dans toute l'Europe du nord : en Suède (Baden *et al.*, 2021), aux Pays-Bas (Capelle *et al.*, 2021), en Irlande (Littel *et al.*, 2024) et au Royaume-Uni (Cano *et al.*, 2022). Ces phénomènes expliquent en partie la contraction de l'aire de répartition de l'espèce (Jones *et al.*, 2010) et contribuent probablement au déclin de la mytiliculture tel qu'observé en Europe (Avdelas *et al.*, 2021). L'épisode de mortalité observé à Groix pourrait donc s'inscrire dans ce processus.

Les méthodes permettant la détermination des facteurs causaux d'une maladie (infectieuse ou pas) tombent dans le champ de l'épidémiologie. L'une des premières étapes consiste à déterminer des relations statistiques liant, d'une part, la variation des facteurs de risques présumés (endogènes ou exogènes) et d'autre part, celle du risque d'apparition de la maladie ou du symptôme (Bodemer *et al.*, 2014). Ces études s'appuient nécessairement sur des méthodologies d'observation homogénéisées adressées à l'analyse d'un ensemble de cas.

Une revue systématique de la littérature conduite par Lupo *et al.* (2021) identifie jusqu'à 102 facteurs de risques putatifs associés aux cas de mortalité de *Mytilus edulis* et *M. galloprovincialis*. Cette étude bibliographique de référence recense ainsi différents travaux, menés par des équipes de recherche dans le monde entier, qui ont permis d'identifier ou de suggérer l'implication de divers facteurs de risques, de nature très différente, selon les cas mortalités ou de dégrappages considérés. Parmi ces facteurs, et pour ce qui concerne uniquement les épisodes observés en France, certains sont ainsi liés à l'occurrence d'agents infectieux (exemples dans Bouras *et al.*, 2023 ; Benabdelmouna *et al.*, 2018, Pépin *et al.*, 2017), aux caractéristiques génétiques, cytogénétiques ou à l'état physiologique des moules (Benabdelmouna *et al.*, 2018, Pépin *et al.*, 2017) et aux paramètres physico-chimiques de l'eau de mer comme le pH et la température (Seuront *et al.*, 2019 ; Gazeau *et al.*, 2014). A l'issue de cette analyse, il apparaît qu'aucun consensus ne se dégage sur l'identification de facteurs causaux prépondérants, les travaux menés jusqu'alors ne s'appuyant pas sur des échantillonnages statistiques suffisamment vastes ou des méthodologies suffisamment homogènes pour prétendre identifier les facteurs de risques impliqués dans les mortalités mytilicoles.

**Institut français de recherche  
pour l'exploitation de la mer**  
Établissement public à caractère  
industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
BP 30535 - 8 rue François Toullec  
56105 Lorient – France  
+33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
29280 Plouzané, France  
+33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
APE 7219 Z  
SIRET 330 715 368 00032  
TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)

## 1.1. Données du réseau REPAMO

Le réseau REPAMO (REseau de PATHologie des MOllusques) est le réseau de surveillance de l'état de santé des coquillages du littoral français opéré pour le compte du ministère chargé de l'agriculture (Direction Générale pour l'Alimentation).

Ce réseau assure une surveillance événementielle s'appuyant sur la déclaration des hausses de mortalité de mollusques par les conchyliculteurs/pêcheurs, les déclarations étant réalisées *via* le site internet du réseau REPAMO (<https://www.repamo.fr>).

Au cours des 20 dernières années, le nombre d'interventions REPAMO concernant des moules a été relativement faible et correspondait généralement à des cas de mortalité isolés. Cependant, entre 2014 et 2020, le nombre des interventions REPAMO concernant les moules a fortement augmenté avec un nombre moyen de 13 prélèvements par an entre 2014 et 2020, alors qu'il n'était que de 4 par an entre 2005 et 2013 (Figure 1). Depuis 2021, le nombre d'interventions s'est fortement réduit pour revenir à un niveau quasi-équivalent à celui d'avant 2014.

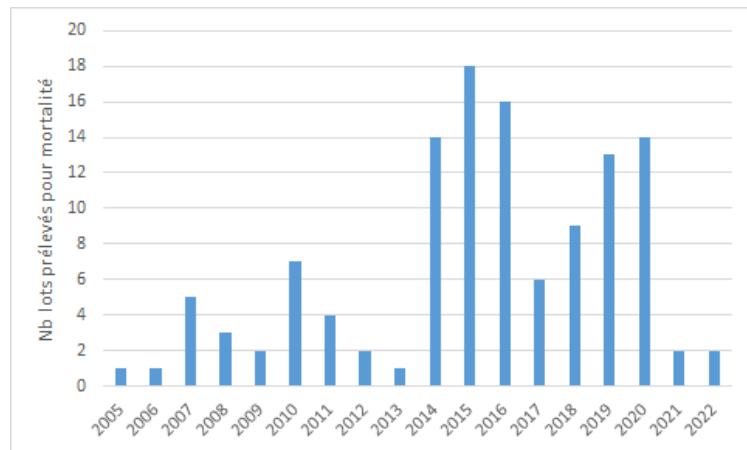


Figure 1 : Nombre de lots de moules prélevés dans le cadre de la surveillance des mortalités de moules entre 2005 et 2022

Il est à noter que les mortalités recensées par le réseau ne sont pas toujours représentatives de la réalité des mortalités sur le terrain car les interventions REPAMO sont fortement dépendantes de l'activité déclarative des professionnels.

Dans le cadre de cette surveillance nationale, les principaux organismes pathogènes associés à des mortalités de moules étaient :

- soit des parasites tels que :
  - o le parasite *Marteilia pararefringens* (ou également nommé *Marteilia refringens* type M). Cet agent, endémique en France, est régulièrement observé en Bretagne, Normandie et dans une moindre mesure, dans le sud de la France et dans les Hauts de France (Arzul *et al.*, 2014).
  - o des trématodes, parasites métazoaires effectuant une partie de leur cycle dans les moules (stades sporocyste et/ou métacercaire). Ils peuvent provoquer des lésions tissulaires conséquentes chez les moules infectées en particulier au stade sporocyste qui constitue un stade de multiplication intensif comme c'est le cas pour l'espèce *Proctoeces maculatus* (Bower, 2009). Cependant, généralement, leur prévalence est relativement faible (peu d'animaux infectés).

- soit des bactéries dont :
  - des bactéries du genre *Vibrio* et notamment appartenant au groupe *Splendidus*. Ce groupe correspond à un grand nombre d'espèces bactériennes naturellement présentes dans le milieu marin (eau de mer, sédiments, coquillages ...) et ces bactéries sont fréquemment détectées chez les moules en dehors des périodes de mortalité. Cependant, il a été montré que certaines souches peuvent être virulentes dans certaines conditions (Béchemin *et al.*, 2015).
  - la bactérie *Francisella haliotidica* récemment détectée chez les moules en France. Comme les bactéries du genre *Vibrio*, certaines souches de cette espèce peuvent affecter les populations de moules (Bouras *et al.*, 2024 ; Garcia *et al.*, 2024).

Concernant le département du Morbihan, peu de déclarations ou interventions REPAMO ont été recensées pour les moules : uniquement 13 entre 2000 et 2024, dont deux qui concernaient des moules élevées sur l'île de Groix (l'une en mars 2022, et l'autre en août 2024, à l'origine de la présente demande d'expertise auprès de l'Ifremer). Ces deux déclarations rapportaient une maigreur des animaux qui présentaient également une quasi-absence de byssus. De fait, les moules n'arrivaient pas à se maintenir fixées et se détachaient des filières, entraînant ainsi leur mortalité sur le fond.

Des prélèvements ont été réalisés lors de ces deux déclarations et analysés en histologie. Il est à noter que les prélèvements réalisés en 2024 étaient décalés par rapport aux premières observations de dégrappage ; les prélèvements ont été réalisés en août alors que les premières observations de dégrappage ont été notées dès le mois de juin.

Les analyses histologiques de 2022 et 2024 n'ont révélé ni la présence d'organisme réglementé<sup>1</sup>, ni la présence du parasite *Marteilia pararefringens*. En 2024, une moule présentait de la néoplasie hémocytaire<sup>2</sup>, et une autre était infectée par des trématodes au stade sporocyste<sup>3</sup>. Des platyhelminthes apparentés au genre *Urastoma* avaient également été notés dans les branchies de 9 sur 24 individus analysés (soit 37,5% des individus).

Lors de ces analyses histologiques, aucune lésion particulière au niveau du pied, organe où se trouve la glande byssogène, n'a été notée. Cependant, cet organe n'était pas systématiquement présent sur les coupes histologiques observées.

En l'absence d'analyses bactériologiques, il n'est pas possible de conclure sur l'implication éventuelle de bactéries ; excepté qu'il est possible d'écarter la bactérie *Francisella haliotidica* puisqu'elle n'a pas été détectée chez les individus testés lors d'analyses PCR.

Les platyhelminthes apparentés au genre *Urastoma* observés lors des analyses réalisées n'ont jamais été décrits comme induisant des lésions au niveau du byssus ou de sa production et ils n'ont jamais été directement incriminés dans des mortalités de moules. Cependant, ce sont des parasites opportunistes généralement localisés au niveau des branchies des coquillages et qui peuvent entraîner ainsi une désorganisation des filaments branchiaux, une infiltration hémocytaire locale et une nécrose du tissu branchial adjacent. Il est à noter que leur présence au sein de ce

<sup>1</sup> Au sens de l'Article 9 et Annexe II du Règlement 2016/429/UE (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:02016R0429-20210421>) et du Règlement d'exécution 2018/1882/UE modifié par les Règlements d'exécution 2022/925/UE et 2024/216/UE ([https://eur-lex.europa.eu/eli/reg\\_impl/2018/1882](https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2018/1882))

<sup>2</sup> Parfois également appelée « leucémie des mollusques »

<sup>3</sup> Forme larvaire des trématodes

lot est assez élevée par comparaison aux données nationales du réseau où généralement la prévalence est inférieure à 10% par lot. Certains auteurs (Robledo *et al.*, 1994 ; Mladineo *et al.*, 2012) ont supposé que ces platyhelminthes pourraient réduire la capacité d'alimentation des moules infectées et induire une maigreur des individus. Ainsi, une réduction de la capacité alimentaire pourrait expliquer la maigreur observée et pourrait peut-être avoir un impact indirect sur la production de byssus (diminution de la quantité et de la qualité des filaments du byssus).

Concernant les autres agents ou lésions observés, vu leur faible prévalence (environ 5%), il est peu probable qu'ils puissent expliquer les mortalités observées.

Dans la littérature, peu d'agents infectieux ont été notés comme induisant des lésions de la glande byssogène et donc du byssus. Certains trématodes au stade sporocyste, notamment l'espèce *Proctoeces maculatus*, peuvent envahir l'ensemble des tissus de la moule et donc entraîner des lésions de la glande byssogène (Sunila *et al.*, 2004). Des champignons, non caractérisés, ont été associés ponctuellement à des lésions des filaments du byssus ou la glande byssogène et des muscles adjacents (Vitellaro-Zucarello, 1973 ; Franchini *et al.*, 2005), mais aucune description de tels champignons n'a été faite au niveau national.

**En conclusion, au vu des différents résultats obtenus, il est difficile d'incriminer un organisme pathogène particulier dans la survenue de ce phénomène de dégrappage bien que certains agents détectés (parasites du genre *Urastoma*) aient pu favoriser un affaiblissement des moules. Il est à noter que les pistes « infection bactérienne ou infection virale » n'ont pas été explorées lors de ce phénomène. De plus, l'absence de données sur l'état zoosanitaire des moules de ce secteur, et plus généralement des différentes régions françaises, ne permet pas de conclure sur le réel impact des agents infectieux observés.**

## 1.2. Données du réseau MYTILOBS

Faisant suite au réseau régional des Pertuis Charentais (REMOULA), né en 2000, le réseau national d'observation de la moule bleue (MYTILOBS)<sup>4</sup> a été étendu à partir de 2012 aux principales régions productrices de la côte Atlantique. Dédié initialement au suivi des performances zootechniques, ce dispositif co-financé par la DGAMPA et l'Ifremer, a progressivement évolué vers un observatoire de la croissance et de la survie de *Mytilus edulis* sur le littoral métropolitain.

En France, depuis 2014, des taux de mortalités très variables entre les sites et les années sont rapportés par le réseau MYTILOBS. Parmi les points suivis par ce réseau, le site d'élevage sur bouchot de Pont-Mahé est celui situé le plus proche de l'île de Groix. Des mortalités supérieures à 50 % ont été mesurées lors des campagnes annuelles de 2018 et 2020 sur ce site (Normand et Louis, 2024). Au mois de juin 2024, les moules faisant l'objet du suivi par le réseau y présentaient un état de maigreur inhabituel (témoignant probablement d'un état post-fraie), mais les proportions de mortalités sur ce site ne dépassaient alors pas 6 % de l'effectif initial.

## **2. Contexte hydro-climatique et biologique de l'année 2024**

L'analyse du contexte hydro-climatique associé à l'épisode de dégrappage observé en juin 2024 sur les moules de Groix s'est notamment appuyée sur les conclusions issues du projet PANDA (Herbomez, 2024).

<sup>4</sup> <https://coast.ifremer.fr/Reseaux-de-surveillance/Ressources-conchyliques/MYTILOBS>



Ce projet, mené entre 2021 et 2024 par l’Ifremer et financé par le Plan de Relance via France Agrimer, faisait écho aux recommandations formulées par Lupo *et al.* (2021). Il visait ainsi à produire une analyse systématique des facteurs de risques environnementaux, et était fondé sur l’analyse de données de mortalités obtenues au travers de méthodologies homogénéisées.

Dans le cadre de ce projet, différents jeux de données d’observation mytilicoles collectés par divers acteurs de l’interprofession conchylicole (Comités Régionaux, Centres Techniques, Bureaux d’Étude) ont été rendus interopérables et homogénéisés afin de produire une même analyse de risque sur un ensemble de cas élargi.

La méthode qui a été employée est celle décrite dans l’article Mazaleyrat *et al.* (2022). Ainsi, pour chaque combinaison d’un site d’observation et d’une campagne annuelle, diverses séries de données de paramètres environnementaux, hydrobiologiques et météorologiques ont été acquises et compilées.

Les liens statistiques entre les variations de ces paramètres et les mortalités ont été systématiquement étudiés en appliquant des méthodes de Machine Learning. Les modèles retenus suggèrent une relation positive entre la proportion de mortalité, l’exposition aux vagues pendant la période estivale, et la température hivernale moyenne. Un lien avec la disponibilité de la ressource trophique en hiver semble également émerger.

Ces résultats seront soumis pour publication dans les mois à venir afin qu’ils soient évalués par la communauté scientifique.

## 2.1. Conditions climatiques

### 2.1.1. Température de l’air

Les écarts à la normale des températures de l’air maximales (température la plus élevée de la journée) enregistrées à Vannes varient entre  $-1.57^{\circ}\text{C}$  et  $+1.64^{\circ}\text{C}$  sur la période 1976-2024 (Figure 2).

L’année 2024 se classe au deuxième rang des années les plus chaudes depuis 1976 avec un écart à la normale de  $+1.60^{\circ}\text{C}$ .

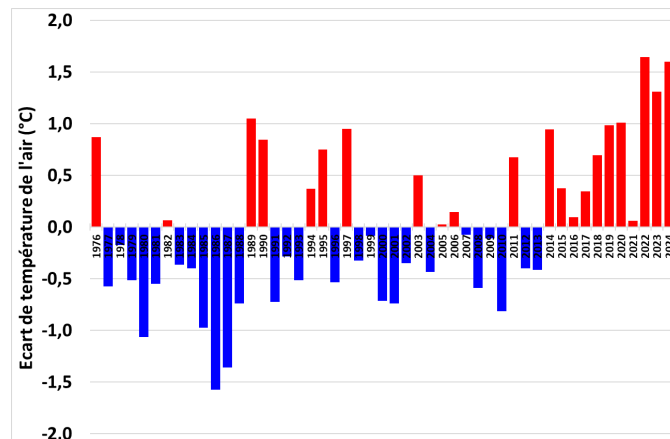


Figure 2 : Écart entre les températures moyennes annuelles maximales dans l’air à Vannes depuis 1976 et la normale (moyenne des températures maximales sur la période 1976-2024) (données Météo France) exprimé en degrés centigrades. En bleu, un écart négatif et en rouge, un écart positif

La température maximale moyenne de l'air en janvier 2024 se situait au niveau de la médiane interannuelle (Figure 3). Le mois de février a été très chaud, sa température figure parmi les températures les plus élevées enregistrées depuis 1976 pour ce mois. La température maximale moyenne est ensuite restée au-dessus de la médiane interannuelle de mars à mai, c'est-à-dire qu'elle était au moins supérieure à plus de 50% des valeurs observées sur la période. Pendant la période estivale, les températures des mois de juin et août ont été conformes aux valeurs habituelles alors que les températures de juillet et septembre étaient situées en dessous de la médiane interannuelle.

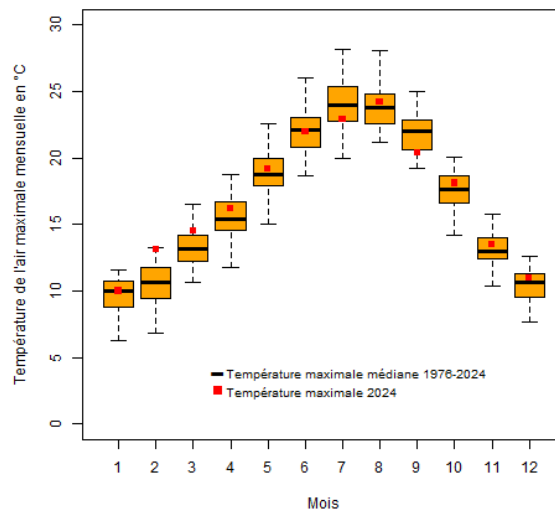


Figure 3. Moyenne mensuelle des températures maximales de l'air quotidiennes mesurées à Vannes en 2024, comparées aux valeurs médianes de la période 1976-2023 exprimée en degrés centigrades. Le trait horizontal de la boîte à moustache représente la médiane sur la période considérée (données Météo France).

### 2.1.2. Ensoleillement et pluviométrie

En 2024, la durée d'insolation a été inférieure à la médiane interannuelle tout au long de l'année, excepté pour les mois de janvier et octobre (Figure 4).

L'ensoleillement a été très déficitaire en février, mars, juillet, septembre et novembre. Les mois de février et novembre 2024 en particulier sont les mois les moins ensoleillés recensés depuis 1987, et celui de juillet se classe au deuxième rang des mois les moins ensoleillés.

Les précipitations ont été très importantes durant l'année 2024, avec le cumul annuel le plus élevé enregistré depuis 1976 (1115 mm). La fin de l'hiver et le début du printemps ont été particulièrement pluvieux (Figure 4).

**Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer**  
 Établissement public à caractère industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
 BP 30535 - 8 rue François Toullec  
 56105 Lorient – France  
 +33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
 ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
 29280 Plouzané, France  
 +33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
 APE 7219 Z  
 SIRET 330 715 368 00032  
 TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)



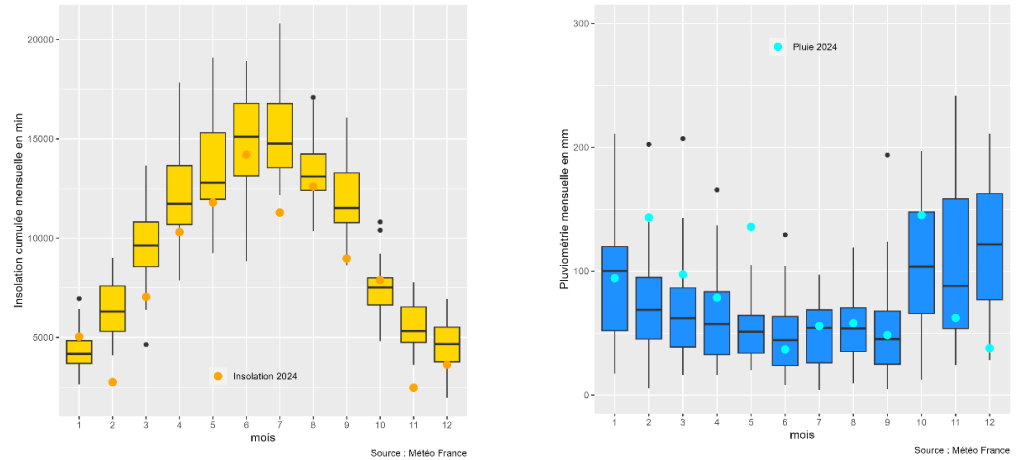


Figure 4. Insolation (à gauche) et pluviométrie (à droite) mesurées à Vannes en 2024, comparées aux valeurs médianes de la période 1987-2023 pour l'insolation, et 1976-2023 pour la pluviométrie. Le trait horizontal de la boîte à moustache représente la médiane sur la période considérée et les points noirs, des valeurs extrêmes (données Météo France).

## 2.2. Débits de la Loire

La zone des filières de Groix se trouve principalement sous l'influence de la Loire (Figure 5). Le panache du Blavet peut également atteindre la zone en situation de crue.

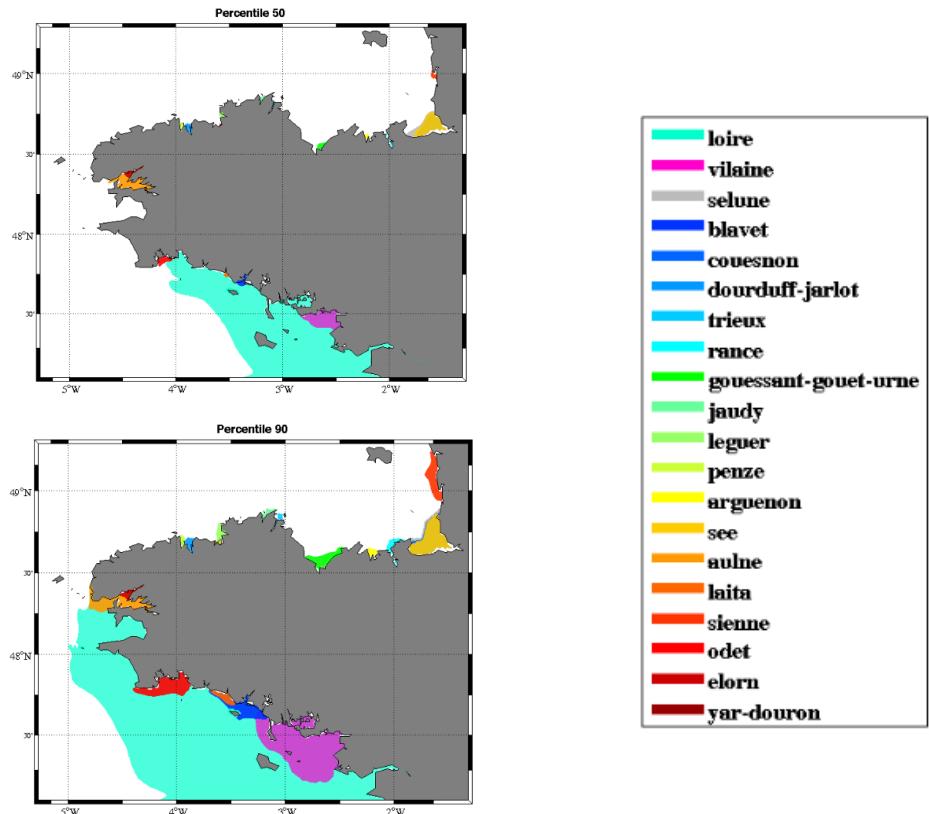


Figure 5. Ecosystèmes récepteurs des bassins versants délimités par leur ligne d'isodilution 100 fois en situation de débits médians (Percentile 50 en haut) et de situation de crue (Percentile 90 en bas) déterminés à partir du modèle hydrodynamique MARS3D, d'après Menesguen et Dussauze (2015).

Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer  
Établissement public à caractère industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
BP 30535 - 8 rue François Toullec  
56105 Lorient – France  
+33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
29280 Plouzané, France  
+33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
APE 7219 Z  
SIRET 330 715 368 00032  
TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)

En lien avec les fortes précipitations de l'année 2024 (Figure 4), le débit de la Loire a été particulièrement élevé pendant la période productive de mars à octobre (Figure 6) : il se situait en effet au-dessus ou proche du percentile 90, c'est-à-dire parmi les débits moyens mensuels les plus élevés enregistrés depuis 1960.

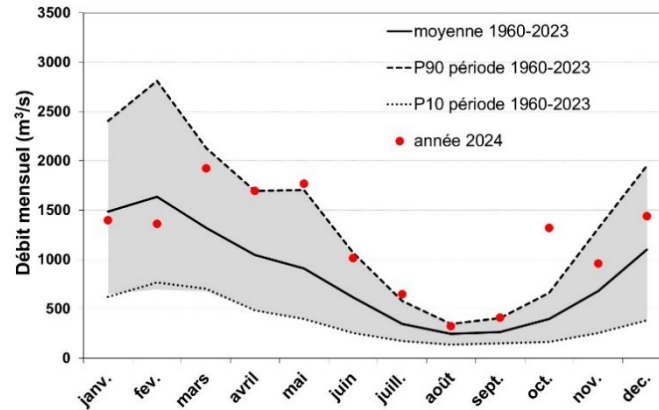


Figure 6. Evolution des débits mensuels de la Loire en 2024 comparée à l'évolution moyenne du percentile 10 (P10, 10% des valeurs de la période considérée se situent en dessous du P10) et du percentile 90 (P90, 10% des valeurs de la période considérée se situent au-dessus du P90) pour la période de 1960 à 2023, exprimés en m3/s.

### 2.3. Paramètres physico-chimiques

Des données « moyennes », générées à partir d'images satellites<sup>5</sup> (concentration en chlorophylle *a* et turbidité) ou issues de modèle<sup>6</sup> (température et salinité), ont été utilisées ci-après pour décrire le contexte hydrologique régional de l'année 2024. Ces résultats sont présentés sous la forme de cartes d'anomalies mensuelles (*i.e.* différences entre la moyenne interannuelle pour un mois donné et la moyenne du même mois en 2024).

En complément, afin de détecter d'éventuels épisodes ponctuels de turbidité importante au large de Groix entre mi-mai et mi-juillet, une recherche d'images satellites journalières a été réalisée *via* l'outil <https://eos.com/landviewer/?lat=47.44016&lng=-3.05969&z=9>. Parmi le peu d'images qui ont ainsi pu être utilisées (en particulier du fait de la forte couverture nuageuse constatée sur cette période), aucune des séquences disponibles n'a permis de visualiser un phénomène atypique.

Par ailleurs, les données *in situ* du lieu de suivi REPHY « Lorient 16 » (Figure 7) ont été exploitées, en replaçant l'année 2024 dans un contexte pluriannuel. Ce lieu est suivi depuis 2007 avec une fréquence mensuelle dans le cadre de la DCE (pour la surveillance de la masse d'eau FRGC 34), et avec une fréquence d'échantillonnage bimensuelle (de mars à octobre) dans le cadre de la surveillance sanitaire de la zone.

**Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer**  
 Établissement public à caractère industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
 BP 30535 - 8 rue François Toullec  
 56105 Lorient – France  
 +33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
 ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
 29280 Plouzané, France  
 +33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
 APE 7219 Z  
 SIRET 330 715 368 00032  
 TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)

<sup>5</sup> MERIS(ESA)/MODIS(NASA) - algorithme Ifremer OC5 (Gohin *et al.*, 2002 ; Gohin *et al.*, 2005 ; Saulquin *et al.* 2019). Cartes disponibles sur <https://marc.ifremer.fr/>

<sup>6</sup> Modèle MARS 3D Manche-Gascogne, Lazure et Dumas (2008)



Figure 7. Localisation des filières de moules de Groix et du lieu de suivi REPHY « Lorient 16 »

**Institut français de recherche  
pour l'exploitation de la mer**  
Établissement public à caractère  
industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
BP 30535 - 8 rue François Toullec  
56105 Lorient – France  
+33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
29280 Plouzané, France  
+33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
APE 7219 Z  
SIRET 330 715 368 00032  
TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)

### 2.3.1. Température de l'eau de mer

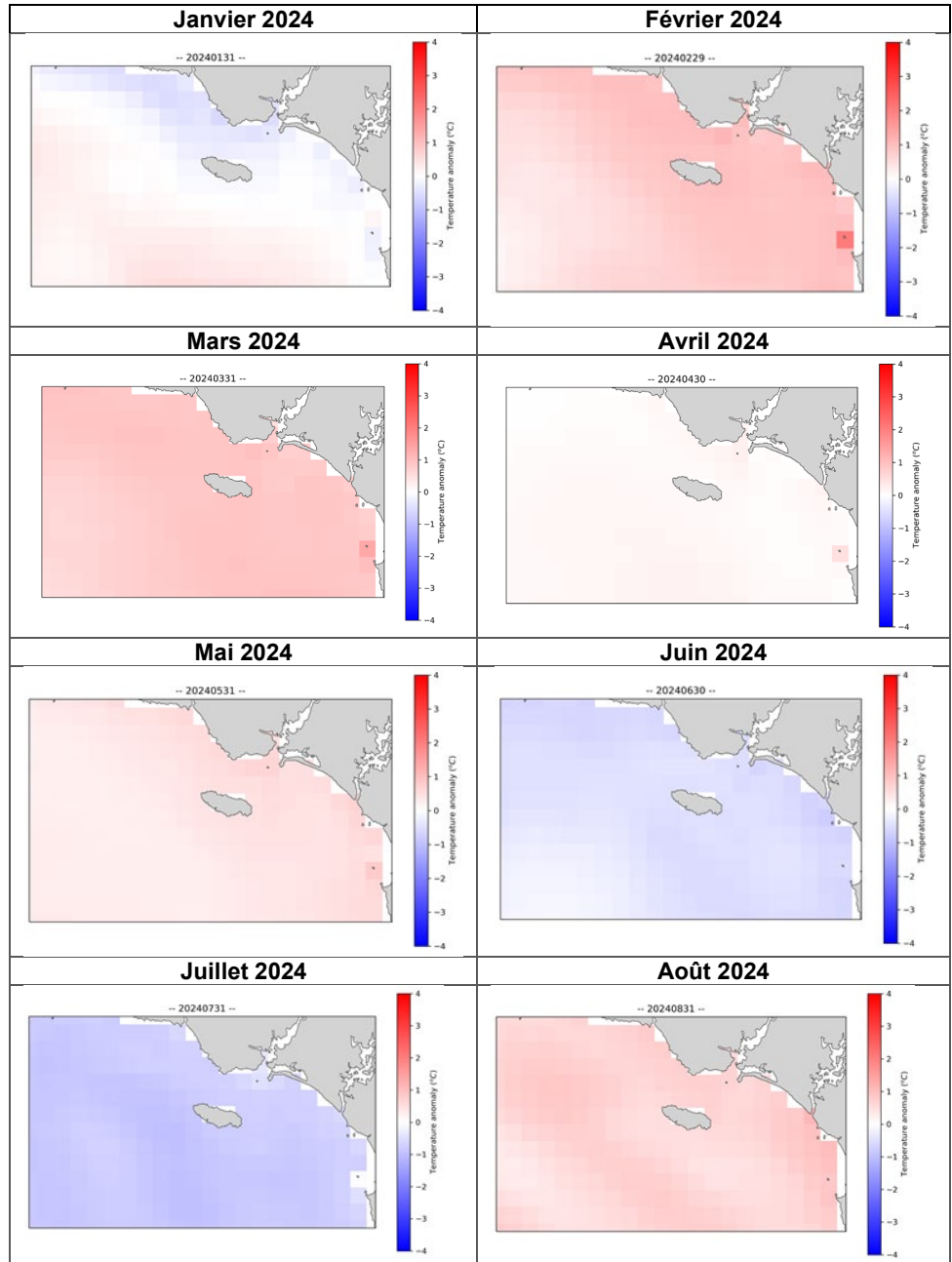


Figure 8. Anomalies mensuelles de température de surface (données modèle MARS 3D Manche-Gascogne) pour l'année 2024, calculées à partir des moyennes mensuelles interannuelles établies sur la période 2006-2023 exprimées en degrés centigrades.

Après un mois de janvier où la température de l'eau de mer de surface est restée proche de la moyenne interannuelle, les mois de février et mars ont été marqués par des anomalies positives de l'ordre de + 0,5°C à + 1°C au large de l'île de Groix (Figure 8).

Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer  
Établissement public à caractère industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
BP 30535 - 8 rue François Touleec  
56105 Lorient – France  
+33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
29280 Plouzané, France  
+33 (0)2 98 22 40 40

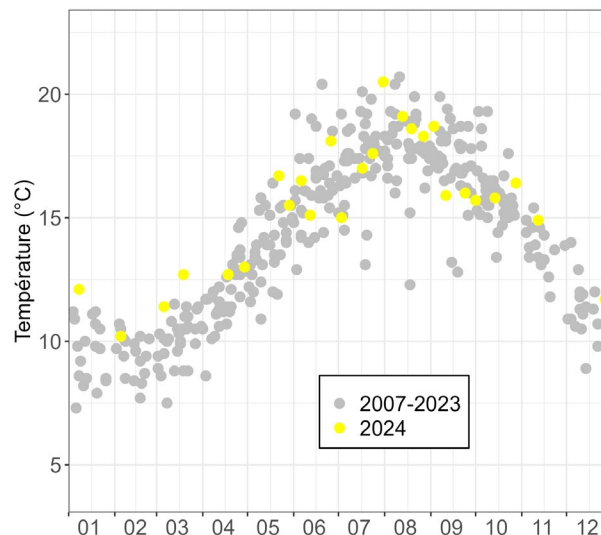
RCS Brest B 330 715 368  
APE 7219 Z  
SIRET 330 715 368 00032  
TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)

Ces données issues de modèle sont par ailleurs confirmées par les mesures *in situ* réalisées dans le cadre du réseau REPHY au niveau de la station « Lorient 16 » (Figure 9), où les températures mesurées se situaient dans la fourchette haute des observations sur la période 2007-2023. La température de 12,7 °C relevée le 19 mars constitue d'ailleurs la plus forte valeur enregistrée sur ce point en mars depuis 2007.

Les températures relevées en avril et mai étaient proches des valeurs habituellement observées, avec une anomalie faiblement positive en mai (Figure 8). En juin et juillet, les températures ont présenté une anomalie négative qui a été plus marquée en juillet. On note une chute importante de la température de surface à la station « Lorient 16 » entre le 26 juin (18,1°C) et le 3 juillet (15.1°C) (Figure 9), puis une forte augmentation de la température sur la fin du mois de juillet (+2,9°C entre le 24 juillet et le 31 juillet).

La température a ensuite été supérieure à la moyenne interannuelle en août (Figure 8).



Source : Données validées Quadrigé®/Ifremer

Figure 9. Evolution de la température en sub-surface en 2024 à la station « Lorient 16 », comparée aux observations de la période 2007-2023 exprimées en degrés centigrades.

### 2.3.2. Salinité

En lien avec les débits élevés de la Loire (Figure 6), la salinité en surface a systématiquement présenté une anomalie négative entre janvier et mai 2024 (Figure 10).

En complément, des dessalures marquées ont été enregistrées pendant cette période à la station « Lorient 16 » (Figure 11) : le 5 février (30,5), le 19 mars (30,4) et le 22 mai (32). Au mois de juin 2024, la salinité était proche des valeurs habituellement mesurées, avec des valeurs d'environ 34,7.

Le mois de juillet 2024 a présenté une anomalie positive en salinité (Figure 10).

**Institut français de recherche  
pour l'exploitation de la mer**  
Établissement public à caractère  
industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
BP 30535 - 8 rue François Toullec  
56105 Lorient – France  
+33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
29280 Plouzané, France  
+33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
APE 7219 Z  
SIRET 330 715 368 00032  
TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)

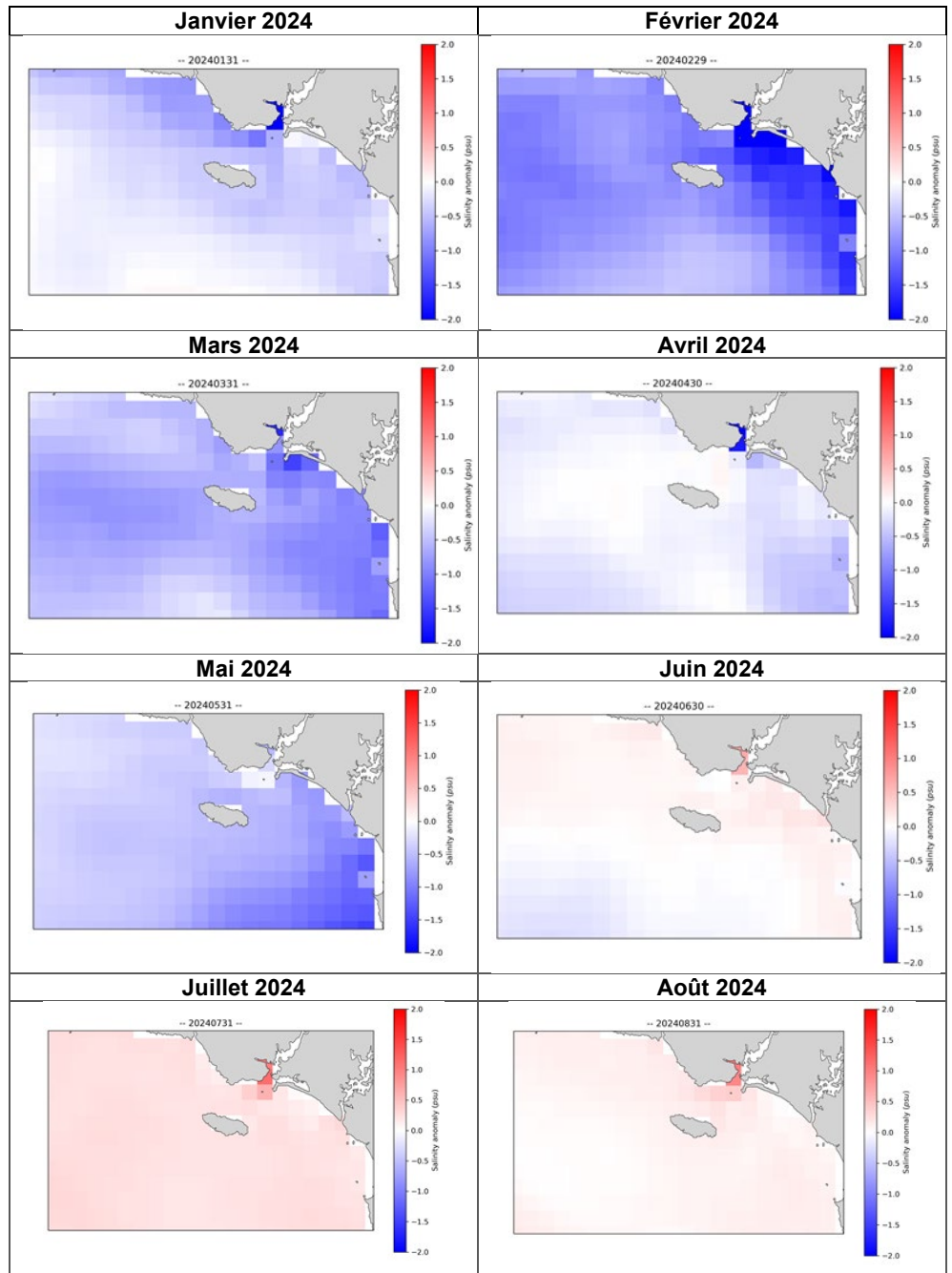


Figure 10. Anomalies mensuelles de salinité de surface (données modèle) pour l'année 2024, calculées à partir des moyennes interannuelles établies sur la période 2006-2023.

**Institut français de recherche  
pour l'exploitation de la mer**  
 Établissement public à caractère  
 industriel et commercial.

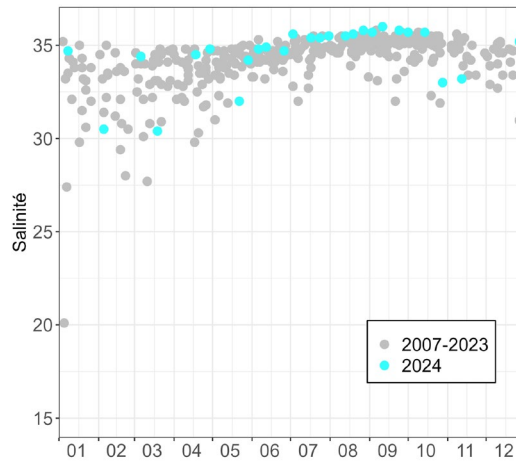
**Station de Lorient**  
 BP 30535 - 8 rue François Toullec  
 56105 Lorient – France  
 +33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
 ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
 29280 Plouzané, France  
 +33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
 APE 7219 Z  
 SIRET 330 715 368 00032  
 TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)





Source : Données validées Quadrigé/Ifremer

Figure 11. Evolution de la salinité en sub-surface en 2024 à la station « Lorient 16 » comparée aux observations de la période 2007-2023.

### 2.3.3. Turbidité

A la fin de l'hiver 2024, la turbidité était plus faible que la moyenne interannuelle sur le secteur côtier Loire-Vilaine, excepté en baie de Vilaine et au Sud de Noirmoutier (Figure 12).

En avril, ce sont les secteurs de l'embouchure de la Loire et de la baie de Bourgneuf qui présentaient une anomalie positive, tandis que la turbidité était proche ou en-dessous de la moyenne interannuelle sur les autres secteurs.

De mai à août, la turbidité était conforme aux valeurs mesurées habituellement, excepté à la sortie des fleuves Loire et Vilaine où une anomalie négative de turbidité a été observée.

Dans le secteur de l'île de Groix, la turbidité a été proche de la moyenne interannuelle de février à août.

Les turbidités mesurées à la station « Lorient 16 » ont été faibles durant toute l'année 2024 (Figure 13), avec un maximum de 2,1 FNU enregistré en janvier et des valeurs inférieures à 0,7 FNU d'avril à septembre.

**Institut français de recherche  
pour l'exploitation de la mer**  
 Établissement public à caractère  
 industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
 BP 30535 - 8 rue François Toullec  
 56105 Lorient – France  
 +33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
 ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
 29280 Plouzané, France  
 +33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
 APE 7219 Z  
 SIRET 330 715 368 00032  
 TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)



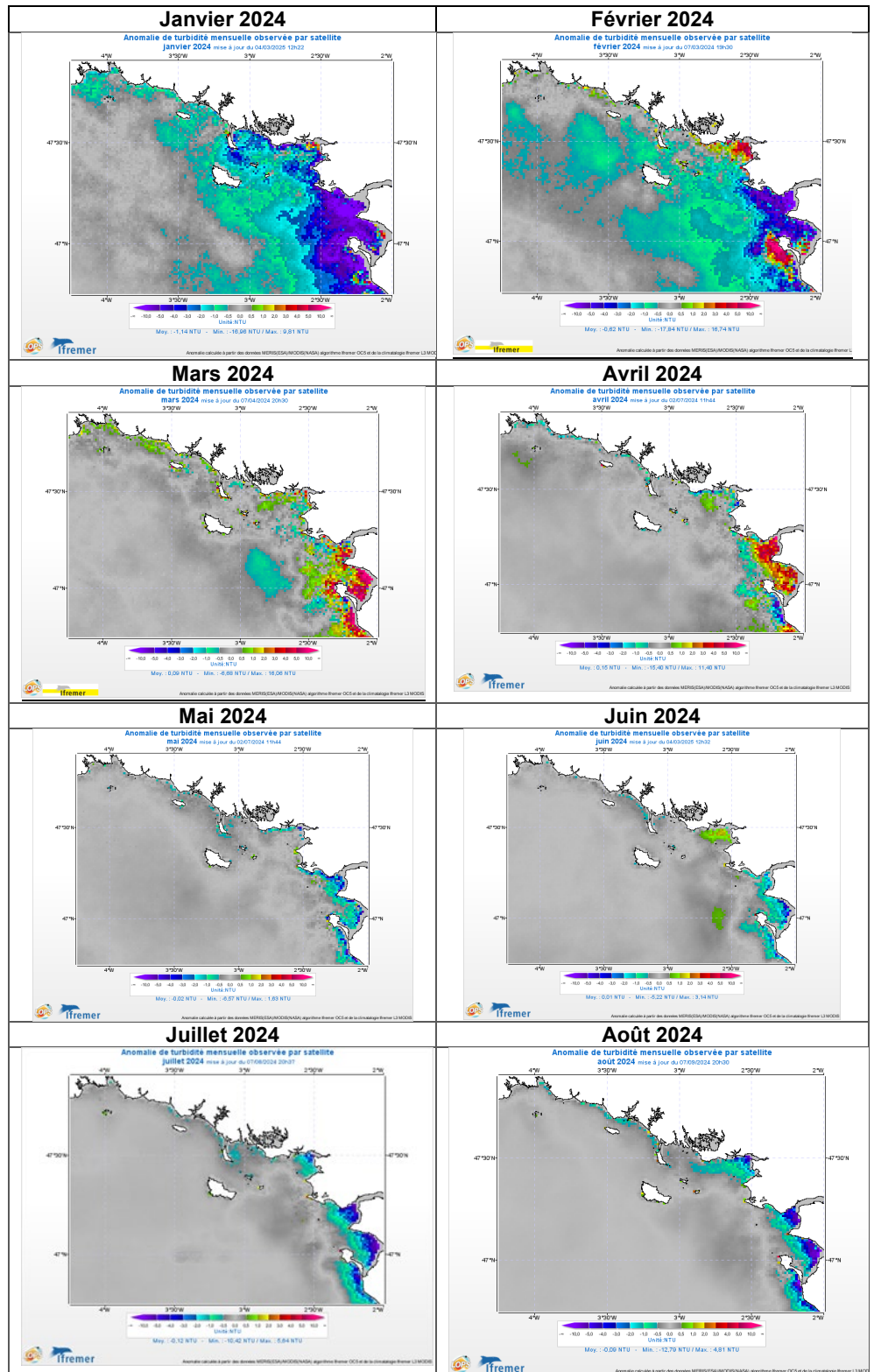


Figure 12. Anomalies mensuelles de turbidité de surface (données satellites) pour l'année 2024, calculées à partir des moyennes interannuelles établies sur la période 2003-2013

Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer  
Établissement public à caractère industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
BP 30535 - 8 rue François Toullec  
56105 Lorient – France  
+33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
29280 Plouzané, France  
+33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
APE 7219 Z  
SIRET 330 715 368 00032  
TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)

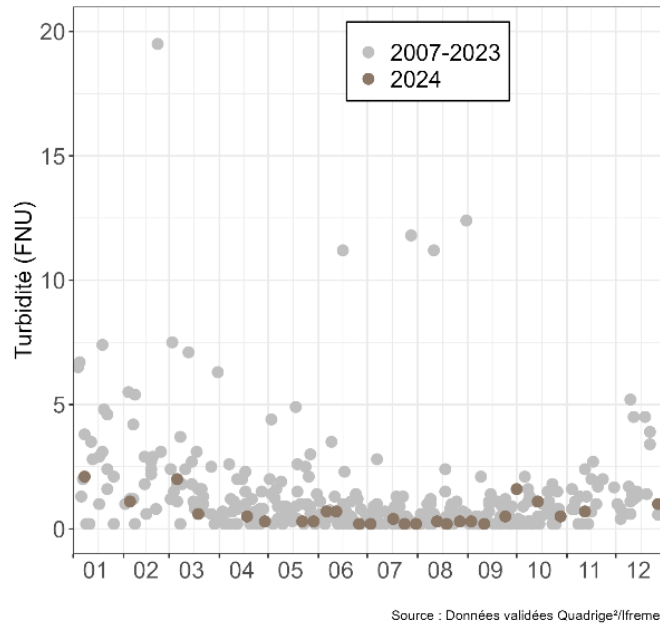


Figure 13. Evolution de la turbidité en sub-surface en 2024 à la station « *Lorient 16* », comparée aux observations de la période 2007-2023.

### 2.3.4. Oxygène Dissous

La dynamique saisonnière des concentrations en oxygène dissous au fond à la station « *Lorient 16* » a été en 2024 conforme au cycle habituellement observé, avec une diminution des concentrations pendant la période estivale (Figure 14).

A noter que la concentration minimale de 5,5 mg/L observée début juin 2024 est largement supérieure au seuil de 2,9 mg/L en dessous duquel le milieu est considéré comme en conditions hypoxiques (Diaz et Rosenberg, 2008).

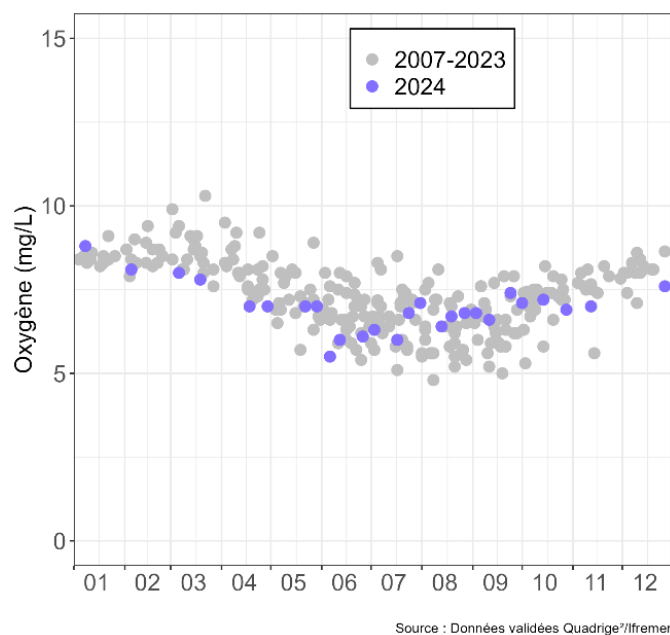


Figure 14. Evolution de la concentration en oxygène dissous au fond en 2024 à la station « *Lorient 16* », comparée aux observations de la période 2007-2023.

**Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer**  
 Établissement public à caractère industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
 BP 30535 - 8 rue François Toullec  
 56105 Lorient – France  
 +33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
 ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
 29280 Plouzané, France  
 +33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
 APE 7219 Z  
 SIRET 330 715 368 00032  
 TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)

### 2.3.5. Biomasse phytoplanctonique

La biomasse du phytoplancton est estimée par le biais des concentrations en chlorophylle a (Chl-a) (Huot *et al.*, 2007). Dans le secteur d'intérêt, c'est-à-dire au nord de l'île de Groix et plus particulièrement au niveau de la station « *Lorient 16* » (Figure 7), la dynamique de la chlorophylle-a s'explique à plus de 30% par les débits de la Loire (Huguet, 2023).

En janvier et en février 2024, des anomalies positives en Chl-a ont été observées au large de la Loire, dans le Mor Braz et au large de la Rade de Lorient, dans le secteur de l'île de Groix (Figure 14). La faible turbidité enregistrée durant ces deux mois (§ 2.3.3. ; Figure 12) a dû permettre un démarrage précoce du développement de phytoplancton, car la lumière n'était alors plus limitante. La teneur en Chl-a n'a pas été mesurée à la station « *Lorient 16* » en février car ce paramètre est mesuré uniquement de mars à octobre dans le cadre de la DCE.

A partir du mois de mars et durant tout le printemps, le secteur de l'île de Groix présente systématiquement une anomalie négative en Chl-a, malgré les apports fluviaux importants pendant cette période, comme le prouve l'anomalie négative de salinité enregistrée en mars (§ 2.3.2.).

Cette anomalie négative de Chl-a est supérieure à  $-5,0 \mu\text{g/L}$  en mai au large d'Etel et de Lorient. Les concentrations en Chl-a observées à « *Lorient 16* » confirment cette faible biomasse phytoplanctonique printanière (Figure 15). Les nutriments fluviaux, notamment ceux de la Loire, ont probablement été consommés pendant le transit des eaux ; une anomalie positive étant dans le même temps constatée au large de la Vilaine et de la Loire entre mars et mai 2024.

Ce contraste entre les eaux au large de la Loire et de la Vilaine et les eaux au large de Lorient et Etel se poursuit pendant la période estivale. Ainsi, les apports de la Vilaine et de la Loire sont à l'origine d'une forte biomasse phytoplanctonique au large des deux grands fleuves, tandis qu'une anomalie négative encore marquée perdure en juillet dans les secteurs à l'ouest de la presqu'île de Quiberon. Les teneurs en Chl-a à la station « *Lorient 16* » ne dépassent pas  $1,2 \mu\text{g/L}$  et se situent dans la fourchette basse des valeurs mesurées depuis 2007 à la même période (Figure 15).

**Institut français de recherche  
pour l'exploitation de la mer**  
Établissement public à caractère  
industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
BP 30535 - 8 rue François Toullec  
56105 Lorient – France  
+33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
29280 Plouzané, France  
+33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
APE 7219 Z  
SIRET 330 715 368 00032  
TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)

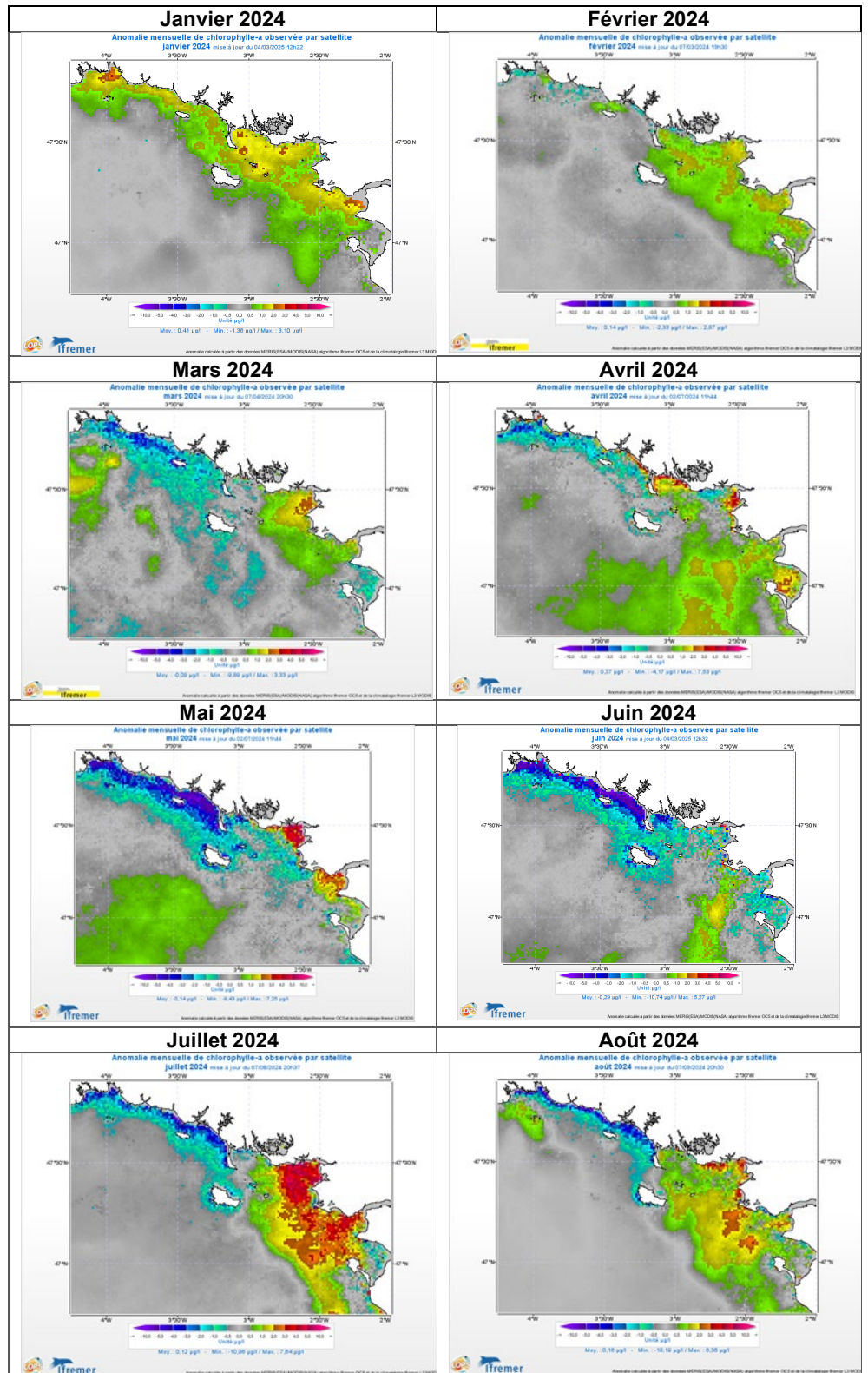


Figure 15. Anomalies mensuelles de Chl-a de surface (données satellites) pour l'année 2024, calculées à partir des moyennes interannuelles établies sur la période 2003-2013.

Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer  
Établissement public à caractère industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
BP 30535 - 8 rue François Touleec  
56105 Lorient – France  
+33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
29280 Plouzané, France  
+33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
APE 7219 Z  
SIRET 330 715 368 00032  
TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)

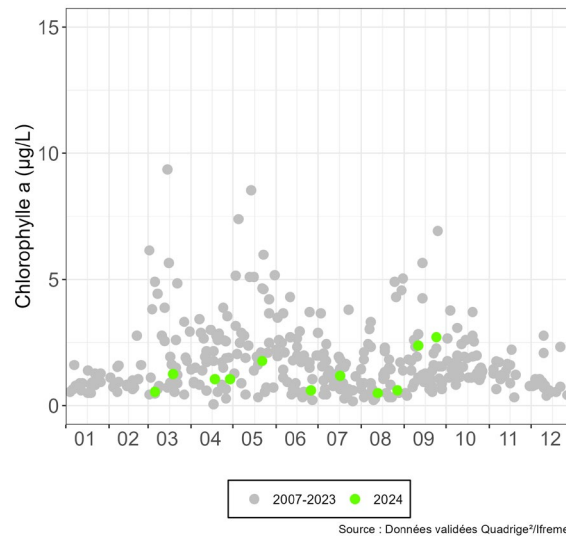


Figure 16. Evolution de la chlorophylle a en sub-surface en 2024 à la station « Lorient 16 » comparées aux observations de la période 2007-2023.

#### 2.4. Contexte hydro-climatique 2024 à Groix et facteurs de risque environnementaux

La fin de l'hiver ainsi que le printemps 2024 ont donc été particulièrement doux et pluvieux, ce qui s'est traduit par des anomalies de salinité et de température en surface de la masse d'eau par rapport aux conditions moyennes observées dans le secteur de l'île de Groix. Ce constat fait ainsi écho aux conclusions de Polsonaere (2017), ainsi qu'à celles du projet PANDA (Herbomez, 2024), qui ont identifié que les hivers doux et pluvieux étaient associés à un risque accru de mortalités mytilicoles.

En complément, il est à noter que la biomasse phytoplanctonique a été remarquablement faible dans le secteur de l'île de Groix pendant toute la période productive en 2024, ce qui pourrait avoir entraîné un taux de chair anormalement bas relaté sur les moules de filière de Groix, voire affecté la production des filaments de byssus en nombre suffisant et en bonne qualité mécanique du fait de la limitation alimentaire (Pieters *et al.*, 1980 ; Hawkins *et al.*, 1985 ; Moeser *et al.*, 2006 ; Thieltges et Buschbaum, 2007 ; Zardi *et al.*, 2007).

Une stratégie de surveillance *in situ* avec une meilleure résolution spatiale et temporelle, voire étendue à d'autres paramètres (ex : flores phytoplanctoniques totales), aurait pu permettre d'étayer ou d'infirmier ces hypothèses.

### 3. Impact de la qualité chimique de l'eau

#### 3.1. Etat de l'art sur l'impact des contaminants sur les moules

Dans la littérature, de nombreux effets de contaminants sont documentés sur les espèces du genre *Mytilus* incluant la génotoxicité, la neurotoxicité, l'immunotoxicité, la perturbation endocrinienne, la reprotoxicité et la toxicité développementale (e.g Gomes *et al.*, 2013 ; Rocha *et al.*, 2014 ; Cappello *et al.*, 2015 ; Balbi *et al.*, 2018).

La revue systématique de Lupo *et al.* (2021) sur les facteurs de mortalités mytilicoles indique que les effets des contaminants chimiques ont été plus étudiés chez *M. galloprovincialis* que chez *M. edulis*. Des expériences en conditions contrôlées de





laboratoire ont démontré que des expositions à divers contaminants chimiques organiques ou inorganiques peuvent entraîner une mortalité chez ces espèces (*M. edulis* : Suni *et al.*, 2007 ; Akaishi *et al.*, 2007 ; Ali & Taylor, 2010 ; *M. galloprovincialis* : Rosen & Lotufo, 2007 ; Danellakis *et al.*, 2011 ; Tsarpali & Dailianis, 2012 ; Tsarpali *et al.*, 2015 ; Oliveira *et al.*, 2017 ; Li *et al.*, 2018).

Une seule étude *in situ*, réalisée en Italie, a examiné l'effet de plusieurs composés chimiques sur le risque de mortalité de *M. galloprovincialis* (Moschino *et al.*, 2016). Les résultats ont montré que les concentrations d'aluminium, de fer, de plomb et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les tissus étaient corrélées au taux de mortalité des moules. Les 11 autres métaux et polluants micro-organiques détectés dans les échantillons de moules n'ont en revanche montré aucune association avec leur mortalité (Moschino *et al.*, 2016).

Le byssus de la moule est produit afin de permettre à l'organisme de vivre dans des environnements variés en résistant aux courants, vagues, marées, et de former d'immenses colonies. Aussi, tout ce qui pourrait affecter l'intégrité du byssus pourrait altérer la performance de ses fibres et donc affecter la survie des moules. La force d'attachement et la ténacité réduites sont très probablement un résultat direct d'un stress pour les moules (Li *et al.*, 2019).

Plusieurs facteurs peuvent affecter la ténacité des moules : des facteurs environnementaux (§ 2.), ou des contaminants comme des contaminants organiques (PBDE, PCB), pesticides, biocides, ainsi que les microplastiques. En effet, des études ont montré l'impact de pesticides comme l'atrazine et l'endosulfan sur la viabilité des moules et leur capacité à produire le byssus (Roberts, 1975 ; Karagiannis *et al.*, 2011), ainsi qu'un biocide couramment utilisé comme le triclosan (Motta *et al.*, 2018). L'exposition aiguë et chronique de moules à des néonicotinoïdes (insecticides) a entraîné une réduction significative de la production de byssus ainsi que des dommages tissulaires chez *Mytilus galloprovincialis* (Stara *et al.*, 2020). Il a aussi été montré l'impact d'un polybromodiphényléther (PBDE), accentué par la faim, sur la diminution des fibres du byssus, son adhésion et sur l'indice de condition des moules (Gu *et al.*, 2023).

Enfin, des travaux ont montré que les microplastiques pouvaient s'accumuler dans le byssus, et que l'exposition répétée de *Mytilus edulis* à des microplastiques en polyéthylène réduit la quantité de fibres du byssus produites, et la force d'attachement d'environ 50% (Green *et al.*, 2019 ; Li *et al.*, 2019). Par ailleurs, l'impact des microplastiques est plus étendu, avec une altération du protéome de l'hémolymphe des moules, incluant plusieurs protéines impliquées dans des processus biologiques vitaux (e.g. régulation immunitaire, détoxification, métabolisme, développement structurel) (Green *et al.*, 2019).

**L'ensemble des données issues de la littérature scientifique indiquent que l'exposition à un stress chimique favorise l'altération de fonctions biologiques majeures telles que les réponses immunitaires, la croissance ou encore la reproduction. Cependant, ces études ne permettent pas de conclure formellement quant au rôle de la contamination chimique dans les épisodes de mortalités de moules observées en France.**

Des recherches supplémentaires *in situ* et en laboratoire sur les effets à long terme, incluant des approches multigénérationnelles, et des expositions à des concentrations réalistes sont nécessaires afin d'identifier, hiérarchiser et mieux comprendre les facteurs de risques associés aux mortalités de moules. Le devenir des substances dans l'environnement et leur toxicité pour les êtres vivants restent encore aujourd'hui méconnus pour la grande majorité d'entre elles.

### 3.2. Bilan des sources de contaminants dans le secteur concerné

#### 3.2.1. Données du ROCCH-MV et du ROCCH-SED<sup>7</sup>

Il existe un point de suivi ROCCH-MV échantillonné annuellement sur un gisement naturel de moules à l'embouchure de la rade de Lorient (Figure 17).



Figure 17. Localisation du lieu de suivi ROCCH MV « La Jument » (moules)

Ce point faisait apparaître des teneurs en métaux plutôt en augmentation sur ces dernières années, notamment pour le zinc, le nickel et le cadmium (cf. Figure 18).

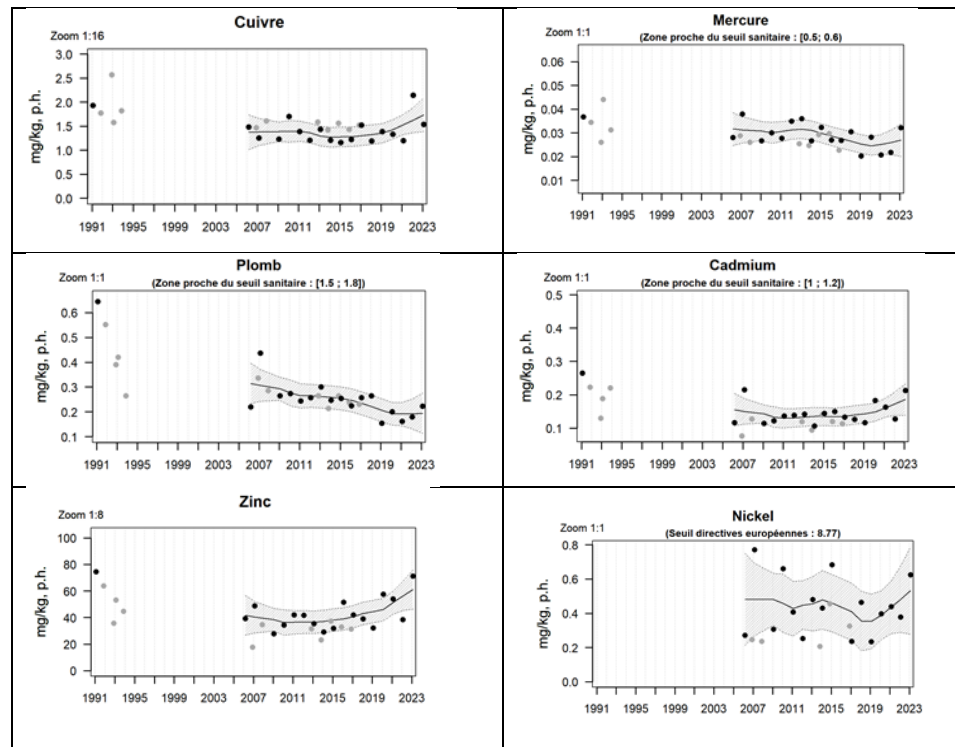


Figure 18 : Evolutions des teneurs en métaux dans les moules du point ROCCH-MV « La Jument »

**Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer**  
 Établissement public à caractère industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
 BP 30535 - 8 rue François Toullec  
 56105 Lorient – France  
 +33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
 ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
 29280 Plouzané, France  
 +33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
 APE 7219 Z  
 SIRET 330 715 368 00032  
 TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)

<sup>7</sup> <https://coast.ifremer.fr/Reseaux-de-surveillance/Environnement/ROCCH-Reseau-d-Observation-de-la-Contamination-CHimique-du-littoral>



Pour identifier des conditions chimiques particulières qui auraient pu coïncider avec les anomalies des moules de Groix rapportées au début de l'été 2024, lors du comité de suivi du site d'immersion du 17/09/2024 il a été signalé que des prélèvements de sédiment ont été réalisés en septembre 2024 sur le site d'élevage, à des fins d'analyses chimiques (les résultats ne nous ont à date pas été communiqués). Sous réserve que les échantillons de sédiments prélevés contiennent une part de fraction fine suffisante (au moins 20% de la classe des particules de diamètre inférieur à 63 µm), les concentrations pourront être comparées, après normalisation, à des valeurs de référence d'écotoxicité (ERL) ou aux valeurs prises en compte pour les évaluations environnementales des directives européennes (DCSMM).

Elles pourront également être comparées à des concentrations mesurées dans des sédiments du secteur (sédiments de la campagne ROCCHSED 2020 par exemple, cf. Tableau 1) afin de détecter une éventuelle sur-contamination locale en 2024.

Tableau 1 : résultats d'analyses de contaminants chimiques issus de la campagne ROCCHSED 2020 sur 3 stations situées dans le secteur de l'île de Groix

	Ouest banc des truies 049-P-004	Passe de Lorient 049-P-005	Lorient 17 049-P-021
% inf 63	45 %	16%	34%
C org %	1	0,5	3,9
Cu (mg/kg)	5,7	3,1	7,1
Ni (mg/kg)	11,9	6,7	17,8
Pb (mg/kg)	26,6	19,4	19,9
Zn (mg/kg)	56	40	60
Hg (mg/kg)	0,028	0,012	0,03
Cd (mg/kg)	0,068	0,044	0,071
Cr (mg/kg)	35	21	54
Al (%)	3,96	3,38	3,29
HAP (µg/kg)	753,72	203,75	277,26
TBT (µg/kg)	0,62	<0,07	4,81
CB153 (µg/kg)	0,632	0,215	0,231

### 3.2.2. Impact potentiel du site d'immersion des sédiments de dragage

Les documents qui ont pu être analysés afin d'appréhender l'impact éventuel des clapages de sédiments des ports de la rade de Lorient sur les filières mytilicoles de l'île de Groix sont les suivants :

- le dossier d'étude d'impact des dragages d'entretien dans la rade de Lorient et clapage des sédiments de qualité immergeables (octobre 2018),
- plusieurs rapports contenant des données destinées à caractériser la qualité des sédiments dragués dans les différents ports/secteurs de la rade de Lorient (Péristyle, La Base, Sainte Catherine, ...),
- une chronique des opérations d'immersion réalisées journalièrement pour chacun des pétitionnaires (Région Bretagne, Naval Group et Lorient Agglomération/Compagnie des ports du Morbihan), entre octobre 2023 et octobre 2024 (provenance matériaux, date et heure de clapage, volume clapé),

- la présentation des résultats du suivi 2023 du site d'immersion des produits de dragage au large de Groix, faite par TBM le 17/09/2024 à l'occasion du comité de suivi restreint.

Sur cette base, sont successivement formulées différentes remarques et recommandations relatives (i) aux analyses de contaminants chimiques sur les sédiments de dragages afin de les caractériser, (ii) aux tests écotoxicologiques destinés à évaluer la toxicité de ces sédiments sur les mollusques marins et (iii) au suivi de l'activité et de l'impact environnemental des opérations d'immersion au large de Groix.

**a) Analyse chimique des sédiments de dragage :**

Les résultats sont comparés aux niveaux d'action N1 et N2 conformément à la réglementation française. Il est à noter que les niveaux relatifs aux métaux traces, qui n'ont jamais été revus, pourraient être révisés prochainement suite aux travaux du projet ECOSED, afin de les mettre en cohérence avec les seuils environnementaux utilisés pour évaluer le bon état écologique du milieu marin, et prendre en compte les potentiels effets écotoxicologiques à ces niveaux de concentrations. Les différences sont particulièrement fortes entre ces seuils et le niveau N1 pour l'arsenic, le mercure, le plomb, le zinc, le PCB 118 (un congénère des PCB dioxin-like), et les HAP benzo(g,h,i)pérylène et indéno(1,2,3-cd)pyrène.

Or, un grand nombre des concentrations mesurées pour le mercure et le CB 118 dépassent les seuils environnementaux Effect-Range Low (ERL) correspondant à une probabilité de 10 % d'effets toxiques sur les organismes benthiques (i.e. ERL à 0,15 mg/kg ps pour le mercure et 0,6 µg/kg ps pour le CB118). Il est à noter également que la limite de quantification analytique des laboratoires d'analyses n'était pas suffisante pour pouvoir comparer les concentrations en CB118 à l'ERL. Des dépassements assez importants des ERL pour le plomb, zinc, benzo(g,h,i)pérylène et indéno(1,2,3-cd)pyrène ont été relevés notamment dans des sédiments de surface et du fond du chenal du Scorff et du Péristyle (souilles 31 et 32), et dans des sédiments du port de la rade de Lorient et du port de La Base. Le devenir de ces sédiments n'est cependant pas mentionné explicitement dans les documents du dossier.

**b) Test écotoxicologique sur larves d'huîtres :**

- l'arbre de décision actuel pour l'évaluation du risque des sédiments de dragage a été respecté, avec la réalisation d'un bioessai sur sédiments lorsque les résultats d'analyse chimique sont supérieurs au seuil N1, conformément à la réglementation et dans le respect des Arrêtés Préfectoraux,
- le test embryo-larvaire sur larves d'huîtres est effectivement un des bioessais recommandés par GEODE, pour sa pertinence et sa sensibilité, ce qui est toujours le cas. Une grille d'interprétation avait été développée pour l'interprétation des résultats de ce bioessai, qui a été reprise dans le cas du dossier actuel,
- l'étude des résultats des tests effectués dans le cadre du dossier transmis montre que tous ces résultats mènent à une toxicité négligeable, avec un pourcentage net de larves anormales de 0%. Les tests écotoxicologiques doivent être réalisés rapidement après le prélèvement des sédiments, afin de ne pas lui laisser le temps de se dégrader. Pour cela, l'élutriat doit être préparé le plus tôt possible, idéalement sous 48h et au maximum sous 10 jours. De plus, celui-ci devrait être réalisé sur la fraction du sédiment < 2 mm

comme pour les analyses chimiques, ce qui n'est pas le cas dans les protocoles de préparation des lixiviats appliqués par les laboratoires. L'étude des rapports d'essai transmis montre que, dans le cadre du présent dossier, la préparation de l'élutriat a été réalisée entre 1,5 mois et 5 mois après le prélèvement, et les tests sous 24h. La durée du stockage des sédiments avant la préparation de l'élutriat est donc longue, avec une probable dégradation du sédiment. Les résultats des tests écotoxicologiques présentés dans le dossier ne nous permettent donc pas de conclure sur le niveau de toxicité des sédiments testés.

**c) Suivi du site d'immersion :**

- La figure 19, réalisée à partir d'une chronique journalière des opérations d'immersion transmise par la DDTM, montre une intensification des clapages journaliers à partir du mois de mai et ce, jusqu'à la mi-juin. Ainsi, les volumes immergés sur la première quinzaine de mai 2024 (environ 16000 m<sup>3</sup>) représentaient plus du double de ceux immergés lors de la dernière quinzaine d'avril, atteignant ensuite approximativement 20000 m<sup>3</sup> les deux quinzaines suivantes. A noter également que les sédiments immergés sur cette période provenaient exclusivement de zones draguées pour le compte de la Région Bretagne et de Naval Group. A défaut de données antérieures, il n'a pas été possible de procéder à une comparaison inter-annuelle de ces volumes immergés, afin d'identifier une spécificité d'activité propre à l'année 2024 susceptible d'expliquer le phénomène observé sur les moules de Groix.

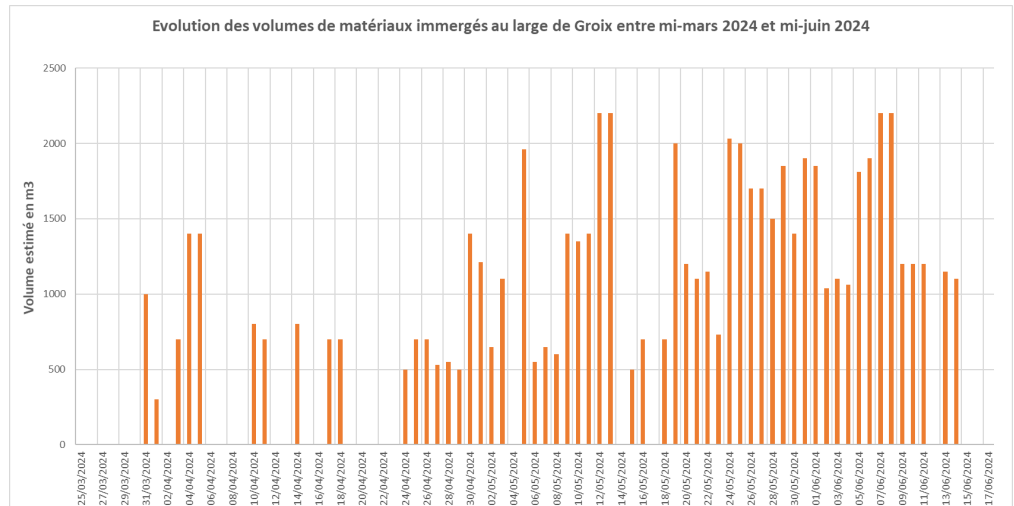


Figure 19 : Evolution des volumes de matériaux immergés au large de Groix entre mi-mars 2024 et mi-juin 2024 (données source : DDTM 56)

- Une attention particulière devra être portée aux résultats 2024 du suivi environnemental du site d'immersion, lorsqu'ils seront disponibles, afin de tenter de répondre aux questions posées suite aux dégrappages des moules de Groix.
- En complément, le suivi des contaminations chimiques dans les sédiments naturels à proximité du site d'immersion (bilan du suivi 2023) n'est pas exploitable pour évaluer l'impact potentiel des clapages sur la zone conchylicole de Groix : la méthodologie n'est pas adaptée (en particulier, le sédiment est trop grossier), de même que les seuils de référence utilisés.

Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer  
Établissement public à caractère industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
BP 30535 - 8 rue François Toullec  
56105 Lorient – France  
+33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
29280 Plouzané, France  
+33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
APE 7219 Z  
SIRET 330 715 368 00032  
TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)

- Les résultats du suivi 2023 sur les moules sont incomplets, avec la perte des deux points sur le site d'immersion ; l'examen des séries chronologiques ne met pas en évidence d'augmentation de la pression chimique sur les moules de Port Lay en 2023.
- Il faudrait une information plus fine que la simple comparaison au seuil N1 des sédiments destinés à être immergés pour pouvoir caractériser l'existence ou l'absence d'un risque chimique lié aux clapages. Le suivi de l'impact potentiel des clapages s'appuie sur les résultats du suivi des contaminations chimiques dans les moules à proximité et à distance moyenne de la zone d'immersion. Pour détecter une éventuelle évolution dans les concentrations chimiques du milieu, le suivi dans les moules doit présenter une stabilité de la stratégie d'échantillonnage (même points, échantillonnés à la même période, moules présentes sur site depuis suffisamment longtemps) et du protocole d'échantillonnage (avec épuration des moules avant analyse) et des méthodes analytiques suffisamment performantes pour quantifier les différentes familles chimiques. Le déplacement du point de référence n°13 au nord de l'île en 2022 ne permet pas de comparer les résultats les plus récents à ceux des années précédentes (point 13 au sud de l'île).
- L'étude d'impact Setec – In vivo de 2018 fait référence aux modélisations des transport et dépôt des sédiments fins (limons) réalisées par Actimar en 2008 et 2012. On peut en retenir que la partie « *limons* » des sédiments portuaires dragués et clapés au nord-ouest de l'île de Groix pourrait donner lieu à des dépôts sur l'estran de l'île, et notamment au nord, où, protégés des plus fortes houles du large lors des épisodes de tempête, ces dépôts pourraient s'enrichir d'apports venant de remise en suspension des dépôts du sud de l'île. L'étude d'impact identifie la zone conchylicole au nord de Groix comme la seule zone conchylicole potentiellement exposée aux apports sédimentaires liés aux clapages, mais retient un risque chimique estimé comme « *négligeable* ». Il est à noter cependant que la nature plutôt fine des sédiments susceptibles d'impacter cette zone conchylicole tend à apporter vers la zone conchylicole des sédiments naturellement propices à l'adsorption de contaminants chimiques lorsqu'ils sont présents. Toutefois, les sédiments portuaires présentant un dépassement du seuil N2 n'ont pas été clapés sur le site d'immersion de Groix, ce qui limite la charge en contaminants chimiques apportée au milieu naturel.
- La méthode de prélèvement des sédiments utilisés pour ceux réalisés « en commun » avec le suivi de la macrofaune n'est pas précisée. Or, l'utilisation d'une drague, ou de certains types de benne qui ne préserve pas la fraction fine du sédiment, est à proscrire pour le prélèvement de sédiments en vue d'une évaluation de la contamination chimique.

### 3.3. Synthèse sur l'impact potentiel de la qualité chimique de l'eau

**Les moules sont des organismes filtreurs dont l'état de santé est affecté par la contamination chimique présente dans l'eau de mer, ainsi que dans les particules filtrées de nature biogénique ou minérale, comprenant les matières en suspension dérivant avec les courants et les particules de sédiments remis en suspension. De nombreuses substances chimiques peuvent avoir un impact sur la production du byssus de ces organismes, sur leur mortalité, et sur les stades de vie précoce des moules.**

Institut français de recherche  
pour l'exploitation de la mer  
Établissement public à caractère  
industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
BP 30535 - 8 rue François Toullec  
56105 Lorient – France  
+33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
29280 Plouzané, France  
+33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
APE 7219 Z  
SIRET 330 715 368 00032  
TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)

L'évaluation de la qualité des sédiments de dragage est réalisée selon la réglementation actuelle, afin d'évaluer le risque associé à leur immersion en mer. Bien que des tests d'écotoxicité aient été réalisés sur les sédiments de dragage présentant des dépassements du niveau d'action N1, leurs résultats ne nous permettent pas de conclure sur le niveau de toxicité des sédiments testés du fait d'aspects méthodologiques. Ces sédiments présentaient des concentrations des contaminants réglementés variables, mais ce diagnostic est incomplet au vu du nombre de substances pouvant impacter la santé des moules.

De plus, il n'a pas été possible de reconstituer de façon précise le déroulé des événements, entre les opérations de dragage, d'immersion en mer et l'occurrence des phénomènes sur l'élevage de moules. Il serait à ce titre intéressant de constituer un système d'information/une base de données permettant compiler et mobiliser plus aisément les nombreuses données produites par les différents pétitionnaires et relatives à l'activité d'immersion (dates & heure, coordonnées, volumes, qualité, etc...).

#### **4. Synthèse des principales conclusions de cette expertise**

Pour chacun des volets thématiques (organismes pathogènes, contexte hydro-climatique, contamination chimique) que vous souhaitiez voir explorés dans votre saisine du 15/10/2024, les principaux éléments d'expertise apportés par l'Ifremer concernant les causes possibles du phénomène de dégrappage massif observé sur les moules de Groix à la fin du mois de juin 2024, sont les suivants :

##### **❖ Organismes pathogènes.**

Au vu des différents résultats obtenus, il est difficile d'incriminer un organisme pathogène particulier dans la survenue de ce phénomène de dégrappage bien que certains agents détectés (parasites du genre *Urastoma*) aient pu favoriser un affaiblissement des moules. Il est à noter que les pistes « *infection bactérienne ou infection virale* » n'ont pas été explorées lors de ce phénomène. De plus, l'absence de données sur l'état zoosanitaire des moules de ce secteur, et plus généralement des différentes régions françaises, ne permet pas de conclure sur le réel impact des agents infectieux observés.

##### **❖ Contexte hydro-climatique et biologique.**

La fin de l'hiver, ainsi que le printemps 2024, ont été particulièrement doux et pluvieux, ce qui s'est traduit par des anomalies de salinité et de température en surface de la masse d'eau par rapport aux conditions moyennes observées dans le secteur de l'île de Groix. Ce type de conditions climatiques est identifié comme un facteur de risque environnemental impliqué dans la variation des mortalités chez les moules.

En complément, il est à noter que la biomasse phytoplanctonique a été remarquablement faible dans le secteur de l'île de Groix pendant toute la période productive en 2024, ce qui pourrait avoir entraîné un taux de chair anormalement bas relatif sur les moules de filière de Groix, voire affecté la production des filaments de byssus en nombre suffisant et en bonne qualité mécanique du fait de la limitation alimentaire.

##### **❖ Contaminants chimiques et impact du site d'immersion au large de Groix.**

Les moules sont des organismes filtreurs dont l'état de santé est affecté par la contamination chimique présente dans l'eau de mer, ainsi que dans les particules filtrées de nature biogénique ou minérale, comprenant les matières en suspension

dérivant avec les courants et les particules de sédiments remis en suspension. De nombreuses substances chimiques peuvent avoir un impact sur la production du byssus de ces organismes, sur leur mortalité, et sur les stades de vie précoce des moules.

L'évaluation de la qualité des sédiments de dragage, notamment ceux qui sont immergés au large de l'île de Groix, est réalisée selon la réglementation actuelle afin d'évaluer le risque associé à leur immersion en mer.

Bien que des tests d'écotoxicité aient été réalisés sur les sédiments de dragage présentant des dépassements du niveau d'action N1, leurs résultats ne nous permettent pas de conclure sur le niveau de toxicité des sédiments testés du fait d'aspects méthodologiques. Ces sédiments présentaient des concentrations des contaminants réglementés variables, mais ce diagnostic est incomplet au vu du nombre de substances pouvant impacter la santé des moules.

Par ailleurs, il n'a pas été possible de reconstituer de façon précise le déroulé des événements, entre les opérations de dragage, d'immersion en mer et l'occurrence des phénomènes sur le site d'élevage de moules à Groix.

**L'expertise réalisée ne nous permet donc pas d'identifier à ce stade les causes directes de l'épisode de dégrappage de moules observé à Groix à partir de la fin du mois de juin 2024.**

**Des études et analyses complémentaires, plus spécifique à ce site, seraient nécessaires afin de mieux comprendre le phénomène observé.**

**Institut français de recherche  
pour l'exploitation de la mer**  
Établissement public à caractère  
industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
BP 30535 - 8 rue François Toullec  
56105 Lorient – France  
+33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
29280 Plouzané, France  
+33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
APE 7219 Z  
SIRET 330 715 368 00032  
TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)



## Références bibliographiques

Akaishi, F.M., St-Jean, S.D., Bishay, F., Clarke, J., Rabitto, I. da S., Ribeiro, C.A. de O. (2007). Immunological responses, histopathological finding and disease resistance of blue mussel (*Mytilus edulis*) exposed to treated and untreated municipal wastewater. *Aquatic Toxicology* 82, 1–14.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2007.01.008>

Ali M, Taylor A (2010) The effect of salinity and temperature on the uptake of cadmium and zinc by the common blue mussel, *Mytilus edulis*, with some notes on their survival. *Mesopotamian Journal of Marine Science* 25: 11–30.

Arzul I., Chollet B., Boyer S., Bonnet D., Gaillard J., Baldi Y., Robert M., Joly J.P., Garcia C., Bouchoucha M. (2014). Contribution to the understanding of the cycle of the protozoan parasite *Marteilia refringens*. *Parasitology* 141 : 227-240.

Avdelas, L., Avdic-Mravljje, E., Borges Marques, A. C., Cano, S., Capelle, J. J., Carvalho, N., ... & Asche, F. (2021). The decline of mussel aquaculture in the European Union: causes, economic impacts and opportunities. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 91-118.

Baden, S., Hernroth, B., & Lindahl, O. (2021). Declining populations of *Mytilus* spp. in North Atlantic coastal waters—a Swedish perspective. *Journal of Shellfish Research*, 40(2), 269-296.

Balbi, T., Montagna, M., Fabbri, R., Carbone, C., Franzellitti, S., Fabbri, E., Canesi, L. (2018). Diclofenac affects early embryo development in the marine bivalve *Mytilus galloprovincialis*. *Science of The Total Environment* 642, 601–609.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.125>

Béchemin C., Soletchnik P., Polsenaere P., Le Moine O., Pernet F., Protat M., Fuhrmann M., Quere C., Goulitquer S., Corporeau C., Lapegue S., Travers M.A., Morga B., Garrigues M., Garcia C., Haffner P., Dubreuil C., Faury N., Baillon L., Baud J.P., Renault T. (2015). Episodes de mortalité massive de moules bleues observés en 2014 dans les Pertuis charentais. *Bulletin Épidémiologie, Santé animale et alimentation*, 67 : 6-9. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00312/42343/>

Benabdelmouna, A., & Ledu, C. (2016). The mass mortality of blue mussels (*Mytilus* spp.) from the Atlantic coast of France is associated with heavy genomic abnormalities as evidenced by flow cytometry. *Journal of Invertebrate Pathology*, 138, 30-38.

Benabdelmouna, A., Garcia, C., Ledu, C., Lamy, P., Maurouard, E., & Dégremont, L. (2018). Mortality investigation of *Mytilus edulis* and *Mytilus galloprovincialis* in France: An experimental survey under laboratory conditions. *Aquaculture*, 495, 831-841.

Bodemer, N., Meder, B., & Gigerenzer, G. (2014). Communicating relative risk changes with baseline risk: presentation format and numeracy matter. *Medical Decision Making*, 34(5), 615-626.

Bouras, H., Quesnelle, Y., Barozet, A., Goux, D., Blin, J. L., Savary, M., ... & Houssin, M. (2023). First isolation of *Francisella haliotidica* strains from blue mussel (*Mytilus edulis*) in Normandy, France. *Journal of Invertebrate Pathology*, 200, 107950.

Bouras H., Quesnelle Y., Trancart S., Blin J.L., Savary M., Zatylny-Gaudin C., Houssin M. (2024). Influence of strains in development of francisellosis in the blue mussel *Mytilus edulis* during experimental challenges. *Aquaculture Reports* 36 : 102135. doi:10.1016/j.aqrep.2024.102135



Bower S.M. (2009). Synopsis of Infectious Diseases and Parasites of Commercially Exploited Shellfish.

Cano, I., Parker, A., Ward, G. M., Green, M., Ross, S., Bignell, J., ... & Batista, F. M. (2022). First detection of *Francisella haliotica* infecting a wild population of blue mussels *Mytilus edulis* in the United Kingdom. *Pathogens*, 11(3), 329.

Capelle, J. J., Garcia, A. B., Kamermans, P., Engelsma, M. Y., & Jansen, H. M. (2021). Observations on recent mass mortality events of marine mussels in the Oosterschelde, the Netherlands. *Aquaculture International*, 29(4), 1737-1751.

Cappello, T., Maisano, M., Giannetto, A., Parrino, V., Mauceri, A., Fasulo, S. (2015). Neurotoxicological effects on marine mussel *Mytilus galloprovincialis* caged at petrochemical contaminated areas (eastern Sicily, Italy): 1H NMR and immunohistochemical assays. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* 169, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2014.12.006>

Charles, M., Bernard, I., Villalba, A., Oden, E., Burioli, E. A., Allain, G., ... & Houssin, M. (2020). High mortality of mussels in northern Brittany—Evaluation of the involvement of pathogens, pathological conditions and pollutants. *Journal of Invertebrate Pathology*, 170, 107308.

Cheikh, Y. B., Massol, F., Giusti-Petrucciani, N., & Travers, M. A. (2024). Impact of epizootics on mussel farms: Insights into microbiota composition of *Mytilus* species. *Microbiological Research*, 280, 127593.

Danellakis, D., Ntaikou, I., Kornaros, M., Dailianis, S. (2011). Olive oil mill wastewater toxicity in the marine environment: Alterations of stress indices in tissues of mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Aquatic Toxicology* 101, 358–366. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2010.11.015>

Diaz, R.J. et Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Sci.*, 321 (2008), pp. 926-929

Franchini A., Malagoli D., Ottaviani E. (2005). Investigation of the loss of byssus in *Mytilus galloprovincialis* from mussel farms in the Adriatic Sea. *Cell Biology International* 29: 857-860.

Garcia C., Charles M., Chollet B., Nadeau A., Serpin D. Quintric L., Pépin J.F., Houssin M., Lupo C. (2024). Understanding the role of *Francisella haliotica* in mussel mortalities in France: an integrative approach. *Dis Aquat Org* 158: 81-99. <https://doi.org/10.3354/dao03782>

Gazeau, F., Alliouane, S., Bock, C., Bramanti, L., López Correa, M., Gentile, M., ... & Ziveri, P. (2014). Impact of ocean acidification and warming on the Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*). *Frontiers in Marine Science*, 1, 62.

Gohin, F., Druon, J.N., Lampert, L. (2002). A five channel chlorophyll concentration algorithm applied to SeaWiFS data processed by Seadas in coastal waters. *International Journal Of Remote Sensing* 1639–1661. <https://doi.org/10.1080/01431160110071879>

Gohin, F., Loyer, S., Lunven, M., Labry, C., Froidefond, J., Delmas, D. (2005). Satellite-derived parameters for biological modelling in coastal waters: Illustration over the eastern continental shelf of the Bay of Biscay. *Remote Sensing of Environment* 95(1), 29–46.

Gomes, T., Araújo, O., Pereira, R., Almeida, A.C., Cravo, A., Bebianno, M.J. (2013). Genotoxicity of copper oxide and silver nanoparticles in the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Marine Environmental Research* 84, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2012.11.009>

**Institut français de recherche  
pour l'exploitation de la mer**  
Établissement public à caractère  
industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
BP 30535 - 8 rue François Toullec  
56105 Lorient – France  
+33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
29280 Plouzané, France  
+33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
APE 7219 Z  
SIRET 330 715 368 00032  
TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)



Green, D.S., Colgan, T.J., Thompson, R.C., Carolan, J.C., 2019. Exposure to microplastics reduces attachment strength and alters the haemolymph proteome of blue mussels (*Mytilus edulis*). *Environmental Pollution* 246, 423–434. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.12.017>

Gu, H., Wei, S., Tu, Z., Hu, M., Guo, B., Wang, Y., 2023. Polybrominated diphenyl ether-47 and food shortage impair the byssal attachment and health of marine mussels. *Science of The Total Environment* 891, 164415. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164415>

Hawkins, A.J.S. et Bayne, B.L. (1985). Seasonal variation in the relative utilization of carbon and nitrogen by the mussel *Mytilus edulis*: budgets, conversion efficiencies and maintenance requirements. *Mar Ecol Prog Ser*, 25:181-188.

Herbomez A. (2024). Etude des déterminismes environnementaux de la variation des taux de mortalité de *Mytilus edulis* depuis 2014. Rapport de stage de Master 2 BEE, Université d'Angers, 44 pages.

Huguet Antoine Paul (2023). Dynamique de la biomasse phytoplanctonique à haute résolution spatiotemporelle par l'utilisation des données satellitaires et de la surveillance. Biodiversité et Ecologie. Nantes Université, 2023. Français. ffNNT : 2023NANU4042ff. fftel-04611774f

Huot, Y., Babin, M., Bruyant, F., Grob, C., Twardowski, M.S., Claustre, H. (2007). Does chlorophyll a provide the best index of phytoplankton biomass for primary productivity studies ? *Biogeosciences* 707–745. <https://doi.org/10.5194/bgd-4-707-2007>

Jones, S. J., Lima, F. P., & Wethey, D. S. (2010). Rising environmental temperatures and biogeography: poleward range contraction of the blue mussel, *Mytilus edulis* L., in the western Atlantic. *Journal of Biogeography*, 37(12), 2243-2259.

Karagiannis, D., Vatsos, I.N., Angelidis, P., 2011. Effects of atrazine on the viability and the formation of byssus of the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Aquacult Int* 19, 103–110. <https://doi.org/10.1007/s10499-010-9344-5>

Lazure, P., and Dumas, F. (2008) : An external-internal mode coupling for a 3D hydrodynamical model for applications at regional scale (MARS). *Advances In Water Resources*, 31(2), 233-250.

Li, J., Schiavo, S., Xiangli, D., Rametta, G., Miglietta, M.L., Oliviero, M., Changwen, W., Manzo, S. (2018). Early ecotoxic effects of ZnO nanoparticle chronic exposure in *Mytilus galloprovincialis* revealed by transcription of apoptosis and antioxidant-related genes. *Ecotoxicology* 27, 369–384. <https://doi.org/10.1007/s10646-018-1901-0>

Li, Q., Sun, C., Wang, Y., Cai, H., Li, L., Li, J., Shi, H., 2019. Fusion of microplastics into the mussel byssus. *Environmental Pollution* 252, 420–426. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.093>

Little, C., Trowbridge, C. D., Pilling, G. M., Williams, G. A., Morritt, D., & Stirling, P. (2024). Long-term fluctuations and recent decline of mussel populations in an Irish sea lough. *Journal of Molluscan Studies*, 90(1), eyae002.

Lupo, C., Bougeard, S., Le Bihan, V., Blin, J. L., Allain, G., Azema, P., ... & Le Bouquin, S. (2021). Mortality of marine mussels *Mytilus edulis* and *M. galloprovincialis*: systematic literature review of risk factors and recommendations for future research. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 504-536.

Mazaleyrat, A., Normand, J., Dubroca, L., & Fleury, E. (2022). A 26-year time series of mortality and growth of the Pacific oyster *C. gigas* recorded along French coasts. *Scientific Data*, 9(1), 392.

Mauffret Aourell, Brun Mélanie, Bustamante Paco, Chouvelon Tiphaine, Mendez-Fernandez Paula, Mille Tiphaine, Poiriez Gauthier, Spitz Jérôme, Wessel Nathalie (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>

Menesguen Alain, Dussauze Morgan (2015). Détermination des "bassins récepteurs" marins des principaux fleuves français de la façade Manche-Atlantique, et de leurs rôles respectifs dans l'eutrophisation phyto-planctonique des masses d'eau DCE et des sous-régions DCSMM. Phase 1 (2013) : Calcul de scénarios optimaux à partir des " bassins récepteurs". Phase 2 (2014) : Simulation de scénarios imposés et des scénarios optimaux. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00333/44422/>

Mladineo I., Petrić M., Hrabar J., Bočina I., Peharda M. (2012). Reaction of the mussel *Mytilus galloprovincialis* (Bivalvia) to *Eugymnanthea inquilina* (Cnidaria) and *Urustoma cyprinae* (Turbellaria) concurrent infestation. Journal of Invertebrate Pathology 110 (1):118-125 <https://doi.org/10.1016/j.jip.2012.03.001>

Moeser, G.M., Leba, H. et Carrington, E. (2006). Seasonal influence of wave action on thread production in *Mytilus edulis*. J. Exp. Biol., 209: 881–890.

Moschino, V., Del Negro, P., De Vittor, C., Da Ros, L. (2016). Biomonitoring of a polluted coastal area (Bay of Muggia, Northern Adriatic Sea): A five-year study using transplanted mussels. Ecotoxicology and Environmental Safety 128, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.02.006>

Motta, C.M., Tizzano, M., Tagliafierro, A.M., Simoniello, P., Panzuto, R., Esposito, L., Migliaccio, V., Rosati, L., Avallone, B. (2018). Biocide triclosan impairs byssus formation in marine mussels *Mytilus galloprovincialis*. Environmental Pollution 241, 388–396. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.064>

Myrand, B., Guderley, H., & Himmelman, J. H. (2000). Reproduction and summer mortality of blue mussels *Mytilus edulis* in the Magdalen Islands, southern Gulf of St. Lawrence. Marine Ecology Progress Series, 197, 193-207.

Normand, J., & Louis, W. (2024). MYTILOBS Campagne 2022-2023, Réseau d'observation des moules d'élevage sur la côte Atlantique et dans la Manche.

Oliveira, P., Almeida, Â., Calisto, V., Esteves, V.I., Schneider, R.J., Wrona, F.J., Soares, A.M.V.M., Figueira, E., Freitas, R. (2017). Physiological and biochemical alterations induced in the mussel *Mytilus galloprovincialis* after short and long-term exposure to carbamazepine. Water Research 117, 102–114. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.03.052>

Pépin, JF., Benabdelmouna, A., Degremont, L., Guesdon, S., Le Moine, O., Morga, B., Bierne, N., Travers, MA., Robert, S., Soletchnik, P. (2017). Mortalités de moules bleues dans les secteurs mytilicoles charentais et vendéens : description et facteurs liées -MORBLEU. R.INT.RBE/SG2M-LGPMM.

Pieters H., Kluytmans JH., Zandee DI. et Cadee GC. (1980). Tissue composition and reproduction of *Mytilus edulis* in relation to food availability. Neth. J. Sea Res. 14: 349–361.

Polsenaere, P., Soletchnik, P., Le Moine, O., Gohin, F., Robert, S., Pepin, J.-F., Stanisiere, J.-Y., Dumas, F., Bechemin, C., & Gouletquer, P. (2017). Potential environmental drivers of a regional blue mussel mass mortality event (winter 2014, Breton Sound, France). Journal of Sea Research, 123, 39–50. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2017.03.005>

**Institut français de recherche  
pour l'exploitation de la mer**  
Établissement public à caractère  
industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
BP 30535 - 8 rue François Toullec  
56105 Lorient – France  
+33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
29280 Plouzané, France  
+33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
APE 7219 Z  
SIRET 330 715 368 00032  
TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)



Roberts, D., 1975. The effect of pesticides on Byssus formation in the common mussel, *Mytilus edulis*. *Environmental Pollution* (1970) 8, 241–254. [https://doi.org/10.1016/0013-9327\(75\)90080-4](https://doi.org/10.1016/0013-9327(75)90080-4)

Rocha, T.L., Gomes, T., Cardoso, C., Letendre, J., Pinheiro, J.P., Sousa, V.S., Teixeira, M.R., Bebianno, M.J. (2014). Immunocytotoxicity, cytogenotoxicity and genotoxicity of cadmium-based quantum dots in the marine mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Marine Environmental Research* 101, 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2014.07.009>

Robledo J. A. R, Cáceres-Martinez J., Sluys R., Figueras A. (1994). The parasitic turbellarian *Urastoma cyprinae* (Platyhelminthes: Urastomidae) from blue mussel *Mytilus galloprovincialis* in Spain: occurrence and pathology. *Dis Aquat Org* 18:203-210.

Rosen, G., Lotufo, G.R. (2007). Toxicity of explosive compounds to the marine mussel, *Mytilus galloprovincialis*, in aqueous exposures. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 68, 228–236. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2007.03.006>

Saulquin, B., Gohin, F., Fanton d'Andon, O. (2019). Interpolated fields of satellite derived multi-algorithm chlorophyll a estimates at global and european scales in the frame of Copernicus-Marine Environment Maritime Service. *Operational Oceanography* 12, 47–57. <https://doi.org/10.1080/1755876X.2018.1552358>

Seuront, L., Nicastro, K. R., Zardi, G. I., & Goberville, E. (2019). Decreased thermal tolerance under recurrent heat stress conditions explains summer mass mortality of the blue mussel *Mytilus edulis*. *Scientific Reports*, 9(1), 17498.

Stara, A., Pagano, M., Capillo, G., Fabrello, J., Sandova, M., Vazzana, I., Zuskova, E., Velisek, J., Matozzo, V., Faggio, C. (2020). Assessing the effects of neonicotinoid insecticide on the bivalve mollusc *Mytilus galloprovincialis*. *Science of The Total Environment* 700, 134914. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134914>

Suni, S., Koskinen, K., Kauppi, S., Hannula, E., Ryyänen, T., Aalto, A., Jäänheimo, J., Ikävalko, J., Romantschuk, M. (2007). Removal by Sorption and In Situ Biodegradation of Oil Spills Limits Damage to Marine Biota: A Laboratory Simulation. *ambi* 36, 173–179. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[173:RBSAIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[173:RBSAIS]2.0.CO;2)

Sunila I., Williams L., Russo S., Getchis T. (2004). Reproduction and pathology of blue mussels, *Mytilus edulis* (L.) in an experimental longline in Long Island Sound, Connecticut. *Journal of Shellfish Research* 23 (3): 731–740.

Thieltges, DW. et Buschbaum, C. (2007). Mechanism of an epibiont burden: *Crepidula fornicata* increases byssus thread production by *Mytilus edulis*. *J. Moll. Stud.*, 73: 75–77.

Tsarpali, V., Dailianis, S. (2012). Investigation of landfill leachate toxic potency: An integrated approach with the use of stress indices in tissues of mussels. *Aquatic Toxicology* 124–125, 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2012.07.008>

Tsarpali, V., Belavgeni, A., Dailianis, S. (2015). Investigation of toxic effects of imidazolium ionic liquids, [bmim][BF<sub>4</sub>] and [omim][BF<sub>4</sub>], on marine mussel *Mytilus galloprovincialis* with or without the presence of conventional solvents, such as acetone. *Aquatic Toxicology* 164, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.04.021>

Vitellaro-Zucarello L. (1973). Ultrastructure of the Byssal Apparatus of *Mytilus galloprovincialis*. I. Associated Fungal Hyphae. *Marine Biology* 22: 225-230.



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



Zardi, G.I., McQuaid, C.D. et Nicastro, K.R. (2007). Balancing survival and reproduction: seasonality of wave action, attachment strength and reproductive output in indigenous *Perna perna* and invasive *Mytilus galloprovincialis* mussels. *Mar Ecol Progr Ser*, 334:155–163.

**Institut français de recherche  
pour l'exploitation de la mer**  
Établissement public à caractère  
industriel et commercial.

**Station de Lorient**  
BP 30535 - 8 rue François Toullec  
56105 Lorient – France  
+33 (0)2 97 87 38 00

**Siège social**  
ZI de la Pointe du Diable CS 10070  
29280 Plouzané, France  
+33 (0)2 98 22 40 40

RCS Brest B 330 715 368  
APE 7219 Z  
SIRET 330 715 368 00032  
TVA FR 46 330 715 368

[www.ifremer.fr](http://www.ifremer.fr)