



# Caractérisation des impacts des efflorescences algales nuisibles en Manche. Application au cas de la pêche de coquilles Saint-Jacques de la Manche Est

Sarra Chenouf

## ► To cite this version:

Sarra Chenouf. Caractérisation des impacts des efflorescences algales nuisibles en Manche. Application au cas de la pêche de coquilles Saint-Jacques de la Manche Est. Sciences du Vivant [q-bio]. 2018. dumas-01992683

**HAL Id: dumas-01992683**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01992683>**

Submitted on 24 Jan 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



**AGROCAMPUS OUEST**

☐ CFR Angers ☒ CFR Rennes

Année universitaire : 2017-2018

Parcours :

Sciences Halieutiques et Aquacoles

(Gestion des pêches et des écosystèmes continentaux et côtiers)

### Mémoire de Fin d'Études

- ☐ d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- ☒ de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- ☐ d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

## Caractérisation des impacts des efflorescences algales nuisibles en Manche. Application au cas de la pêche de coquilles Saint-Jacques de la Manche Est

Par Sarra CHENOUF



© M. Lørdan, 2014

***Soutenu à Rennes le 12 septembre 2018***

***Devant le jury composé de :***

**Présidente (enseignant référent) :** Marie LESUEUR, Agrocampus Ouest

**Maîtres de stage :** Pascal RAUX et José PEREZ AGUNDEZ, UMR AMURE – UBO - Ifremer

**Autres membres de jury :**

Catherine PAUL, CRPMEM de Normandie

Carole ROPARS COLLET, enseignante - chercheuse à Agrocampus Ouest

*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST*

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation

« Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France »  
disponible en ligne : <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



## Confidentialité

☒ Non ☐ Oui si oui : ☐ 1 an ☐ 5 ans ☐ 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible <sup>(1)</sup>.

Date et signature du maître de stage <sup>(2)</sup> : 10/10/2018

(ou de l'étudiant-entrepreneur)

A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant à renseigner).

## Droits d'auteur

L'auteur <sup>(3)</sup> **CHENOUF Sarra**

autorise la diffusion de son travail (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

☒ Oui ☐ Non

Si oui, il autorise

☐ la diffusion papier du mémoire uniquement <sup>(4)</sup>

☐ la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

☒ la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

☐ <sup>a</sup> (Facultatif) cer son mémoire sous licence Creative commons CC-By-Nc-  
du mémoire Chap 1.4 page 6

Date et signature de l'auteur : 10/10/2018

## Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

☒ Oui ☐ Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

☐ la diffusion papier du mémoire uniquement <sup>(4)</sup>

☐ la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

☒ la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant :

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3) Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé

## Remerciements

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à la contribution de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma reconnaissance.

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma gratitude à Pascal RAUX et José PEREZ AGUNDEZ, mes encadrants, pour m'avoir permis de réaliser ce stage au sein de leur équipe. Leur encadrement m'a beaucoup appris. Je les remercie pour leur patience, leur disponibilité et surtout leurs judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion, sans oublier leur confiance, et la grande liberté qu'ils m'ont laissée dans mon travail.

Je tiens à remercier le membre du jury d'avoir bien voulu examiner et enrichir ce travail par leurs commentaires et leur expérience.

Un grand merci à Mathieu MERZEREAUD, Gabriel CONTIN et Christelle LE GRAND qui m'ont bien aidé durant ce stage.

Tous mes remerciements vont également aux stagiaires, aux thésards, et l'ensemble des personnels de l'UMR AMURE, pour leur bonne humeur et pour m'avoir permis de réaliser ce stage dans les meilleures conditions.

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements à toute l'équipe de la spécialité Halieutique d'Agrocampus Ouest, en particulier à Marie LESUEUR et Carole REPAS, mes professeurs tuteurs, mais aussi à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté à me rencontrer et répondre à mes questions durant mes deux ans de Master.

## Table des matières

|                                                                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Introduction .....</b>                                                                                                | <b>1</b>  |
| <b>Chapitre I : Dynamique des efflorescences algales nuisibles et problématiques sociétales associées aux HABs .....</b> | <b>4</b>  |
| 1. Définitions .....                                                                                                     | 4         |
| 2. Facteurs explicatifs des HABs .....                                                                                   | 4         |
| 3. Taxons responsables des HABs .....                                                                                    | 5         |
| 4. Types de nuisances générées par les HABs .....                                                                        | 5         |
| 5. Impacts des HABs .....                                                                                                | 7         |
| 5.1. Démarche .....                                                                                                      | 7         |
| 5.2. Résultats .....                                                                                                     | 7         |
| 5.2.1. Impacts écologiques .....                                                                                         | 7         |
| 5.2.2. Impacts socio-économiques .....                                                                                   | 9         |
| 5.2.2.1. Impacts sur la santé humaine .....                                                                              | 9         |
| 5.2.2.2. Impacts sur la pêche .....                                                                                      | 10        |
| 5.2.2.3. Impacts sur l'aquaculture .....                                                                                 | 10        |
| 5.2.2.4. Impacts sur le tourisme et les activités récréatives .....                                                      | 11        |
| 5.2.2.5. Coûts de gestion .....                                                                                          | 11        |
| 6. Caractérisation des HABs en Manche .....                                                                              | 12        |
| 6.1. Présentation de la zone d'étude .....                                                                               | 12        |
| 6.2. Etude des évènements HABs .....                                                                                     | 13        |
| 6.2.1. Résultats d'analyse .....                                                                                         | 13        |
| 6.3. Etude des épisodes toxiques .....                                                                                   | 15        |
| 6.3.1. Définitions .....                                                                                                 | 15        |
| 6.3.2. Résultats d'analyse .....                                                                                         | 15        |
| <b>Chapitre II : Le système HABs en Manche .....</b>                                                                     | <b>17</b> |
| 1. L'approche système .....                                                                                              | 17        |
| 2. Identification des composantes du système HABs dans un cadre DPSIR .....                                              | 18        |
| 2.1. Le DPSIR .....                                                                                                      | 18        |
| 2.2. Application du modèle DPSIR aux HABs .....                                                                          | 18        |
| 3. Présentation du système HABs en Manche .....                                                                          | 19        |
| 3.1. Le sous-système Gestion des HABs .....                                                                              | 20        |
| 3.1.1. Le cadre réglementaire .....                                                                                      | 20        |
| 3.1.2. Processus de surveillance et de gestion des HABs .....                                                            | 21        |

|                                                                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1.2.1. La surveillance.....                                                                                               | 21        |
| 3.1.2.2. La détermination de mesures de gestion.....                                                                        | 23        |
| 3.1.2.3. La mise en œuvre des mesures de gestion .....                                                                      | 24        |
| 3.2. Le sous-système Activités.....                                                                                         | 24        |
| <b>Chapitre III : Analyse des impacts des HABs sur le sous-système pêche à la coquille Saint-Jacques en Manche Est.....</b> | <b>26</b> |
| 1. La pêche professionnelle de la coquilles Saint-Jacques en Manche Est .....                                               | 26        |
| 2. Méthode d'analyse et données .....                                                                                       | 28        |
| 2.1. Définitions.....                                                                                                       | 28        |
| 2.2. Description du jeu de données et méthode de traitement.....                                                            | 28        |
| 2.2.1. Calcul du nombre de fermetures et durée des fermetures .....                                                         | 29        |
| 2.2.2. Construction du protocole d'analyse spatiale .....                                                                   | 30        |
| 3. Analyse de l'exposition de la pêcherie de coquille Saint-Jacques au risque des HABs.....                                 | 30        |
| 3.1. Evolution des fermetures sur les zones de pêche .....                                                                  | 30        |
| 3.2. Impacts des évènements HABs sur la pêcherie de coquille Saint-Jacques en Manche Est.....                               | 31        |
| 3.3. Conséquences des impacts dans le système HABs et mécanisme d'observation ..                                            | 35        |
| <b>Conclusion et discussion .....</b>                                                                                       | <b>37</b> |
| <b>Bibliographie</b>                                                                                                        |           |
| <b>Annexes</b>                                                                                                              |           |

## Liste des illustrations

|                                                                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1.</b> Facteurs expliquant l'augmentation des proliférations phytoplanctoniques nuisibles .....                                                                                                      | 4  |
| <b>Figure 2.</b> Types de nuisances des efflorescences algales (Schweibold, 2017).....                                                                                                                         | 6  |
| <b>Figure 3.</b> Carte conceptuelle de la chaîne d'impacts des HABs .....                                                                                                                                      | 8  |
| <b>Figure 4.</b> Carte de localisation de la zone d'étude.....                                                                                                                                                 | 13 |
| <b>Figure 5.</b> Abondance moyenne interannuelle de phytoplanctons toxiques .....                                                                                                                              | 14 |
| <b>Figure 6.</b> Evolution temporelle du nombre de résultats non conformes d'analyses de phycotoxines.....                                                                                                     | 15 |
| <b>Figure 7.</b> Représentation DPSIR de la problématique HABs.....                                                                                                                                            | 18 |
| <b>Figure 8.</b> Représentation synthétique des sous-systèmes du système HABs en Manche .....                                                                                                                  | 20 |
| <b>Figure 9.</b> Carte conceptuelle du système HABs.....                                                                                                                                                       | 22 |
| <b>Figure 10.</b> Saisonnalité de la production annuelle (en %) de coquilles Saint-Jacques en Manche Est (source de données : Ifremer - SIH) .....                                                             | 26 |
| <b>Figure 11.</b> Protocole proposé pour analyser le risque potentiel des HABs sur la pêche.....                                                                                                               | 30 |
| <b>Figure 12.</b> Evolution du nombre total de fermetures, de la durée totale des fermetures, de la durée moyenne des fermetures et du nombre de zones de productions fermées sur la période 2008 à 2017 ..... | 31 |
| <b>Figure 13.</b> Taux moyen de perte de jours d'accès aux zones de pêche par mois .....                                                                                                                       | 33 |
| <b>Figure 14.</b> Durée de fermetures et production moyenne annuelle des gisements Manche Est de coquilles St-Jacques (2008 – 2017) .....                                                                      | 34 |

## Liste des tableaux

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau 1.</b> Quantités maximales autorisées de pêche de coquilles Saint-Jacques en Manche comme indiqué dans l'arrêté préfectoral n°86/2017 portant sur la réglementation de la pêche à la coquilles Saint-Jacques dans les secteurs « Baie de Seine » et « Hors-Baie de Seine », campagne 2017 - 2018. .... | 28 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## Liste des annexes

|                                                                                                                     |                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Annexe 1.</b> Liste des participants à l’atelier de Caen le 16 mai 2018 .....                                    | - 1 -                              |
| <b>Annexe 2.</b> Carte du réseau d’acteurs concernés par les HABs .....                                             | - 2 -                              |
| <b>Annexe 3.</b> Seuils d’alerte de phytoplanctons toxiques (Neaud-Masson & Lemoine, 2017) - 3 -                    | - 3 -                              |
| <b>Annexe 4.</b> Seuils réglementaires de sécurité sanitaire phycotoxines.....                                      | - 3 -                              |
| <b>Annexe 5.</b> Evolution temporelle des occurrences des phytoplanctons produisant les toxines réglementées.....   | <b>Erreur ! Signet non défini.</b> |
| <b>Annexe 6.</b> Evolution temporelle du nombre d’alertes de phytoplanctons toxiques .....                          | - 5 -                              |
| <b>Annexe 7.</b> Abondance des phytoplanctons toxiques en fonction des zones .....                                  | - 6 -                              |
| <b>Annexe 8.</b> Nombre annuelle d’alertes de phytoplanctons toxiques.....                                          | - 6 -                              |
| <b>Annexe 9.</b> Critères de sélection des données réglementaires (vert : réglementé – noir : non réglementé).....  | - 7 -                              |
| <b>Annexe 10.</b> Nombre d’analyses de phycotoxines .....                                                           | - 8 -                              |
| <b>Annexe 11.</b> Stratégie de surveillance officielle des réseaux REPHY et REPHYTOX .....                          | - 9 -                              |
| <b>Annexe 12.</b> Le script de calcul du nombre de fermeture et de la durée des fermetures sous le logiciel R ..... | - 10 -                             |



## Introduction

Le rôle des micro-organismes est indispensable à la vie dans les milieux aquatiques. Parmi eux, les phytoplanctons constituent le premier maillon de la chaîne trophique aquatiques et représentent la base de la structure de ces écosystèmes (Crenn, 2016).

Sous certaines conditions, ces phytoplanctons sont capables de proliférer en grande quantité en formant des efflorescences algales. Certaines de ces efflorescences présentent des caractères nuisibles, voire toxiques, ayant des impacts sur l'environnement, la santé humaine et les différents usages liés aux zones côtières et marines.

Ces proliférations phytoplanctoniques nuisibles plus connues sous leur acronyme anglais *Harmful Algal Blooms* (HABs) ne sont pas un phénomène nouveau. Depuis très longtemps elles apparaissent naturellement dans les zones riches en éléments nutritifs. L'un des premiers cas rapporté d'intoxication humaine mortelle date de 1793, à la suite de la consommation de coquillages contaminés par des toxines de Dinoflagellés en Colombie-Britannique à l'ouest du Canada (Dale & Yentsch, 1973 in Hallegraeff *et al.*, 2004). Cependant, en raison des pressions anthropiques et de leurs impacts environnementaux, ces phénomènes semblent se développer en termes d'occurrences, de répartition spatiale, et de diversité d'espèces impliquées, rendant plus difficile leur surveillance et leur gestion (Gailhard, 2003 ; Hallegraeff *et al.*, 2004 ; Miller *et al.*, 2006 ; Shen *et al.*, 2012 ; Watson *et al.*, 2015).

Dans ce contexte et depuis plusieurs années, de nombreuses études s'intéressent à la compréhension de la dynamique de ces efflorescences algales, aux facteurs contribuant à leur occurrence et à la manière dont elles génèrent des nuisances. L'objectif principal de ces efforts et investissements est de diminuer les impacts des HABs de manière générale et en particulier de protéger la santé publique, les ressources halieutiques, la structure et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Cependant, les connaissances développées jusqu'à présent ne permettent pas d'atteindre cet objectif. Il est donc nécessaire de mettre en place des stratégies de gestion, d'adaptation et d'atténuation des risques liés aux HABs<sup>1</sup>. Pour ce faire, un système de gestion efficace des HABs doit prendre en compte la spécificité et la diversité des types d'impacts. Ce système est composé de plusieurs mesures. Au cœur de ces dernières, se trouvent la surveillance et le suivi des événements de blooms phytoplanctoniques (Pettersson & Pozdnyakov, 2013). En effet, le développement d'un système d'alerte et de surveillance des efflorescences algales nuisibles implique une détection rapide des proliférations à une échelle spatiale large. Cela permet une meilleure capacité de prévision (Sourisseau *et al.*, 2016). Cependant, les méthodes de surveillance actuelles, basées sur des prélèvements *in situ* d'eau, de coquillages et des analyses en laboratoire, sont limitées par le temps, l'espace et leurs coûts. De plus, elles ne suffisent pas pour anticiper les risques et les impacts liés aux HABs (Babin *et al.*, 2005 ; Shen *et al.*, 2012).

Face à ces contraintes, la télédétection est considérée comme un outil innovant pour la gestion des HABs. Elle peut être la base d'un outil de surveillance permettant d'avoir des informations sur le développement des efflorescences microalgales et les paramètres de leur environnement en temps réel, à long terme et à grande échelle (Shen *et al.*, 2012).

---

<sup>1</sup> L'action sur la dynamique des HABs reste encore très hypothétique et limitée en termes d'échelle spatiale et d'activité (traitement de l'eau à l'ozone sur certaines exploitations aquacoles par exemple).

## Introduction

C'est donc dans cette optique que s'inscrit ce travail qui s'intègre dans le cadre du projet européen S-3 EUROHAB (*Copernicus Sentinel 3 EUtROphication and Harmful Algal Blooms*), un projet du programme Interreg France - (Manche) - Angleterre.

S-3 EUROHAB est un projet cofinancé par le Fond Européen de Développement Régional (FEDER), et coordonné par le Plymouth Marine Laboratory (PML) en collaboration avec huit partenaires britanniques et français. Le projet est né d'une volonté commune (France-Angleterre) d'améliorer la qualité des eaux côtières et marines et de diminuer les impacts des efflorescences phytoplanctoniques nuisibles sur l'espace Manche. Il utilise les données du satellite *Copernicus Sentinel 3* pour développer un système d'alerte en ligne qui aidera à prévenir les gestionnaires et les usagers des ressources marines quant aux proliférations phytoplanctoniques nuisibles et toxiques.

Dans ce cadre, l'UMR AMURE, où prennent place les travaux de ce stage, est chargée, en tant que partenaire du projet, de l'évaluation socio-économique des impacts des HABs sur l'espace France Manche. Ce stage, contribue à la compréhension de ces impacts et des enjeux associés aux stratégies actuelles de gestion des HABs. Il contribue également à la définition et l'expression des besoins en termes de système d'alerte en analysant les avantages et limites d'un tel système et donc à une meilleure gestion des risques liés aux HABs. L'objectif est ainsi de mieux comprendre ***comment les HABs peuvent impacter les activités économiques, d'estimer les risques associés, et d'analyser les programmes de surveillance et de gestion actuellement mis en œuvre en France.***

Au regard de la complexité des processus liés aux HABs, de leur évolution dans le temps et de la diversité des impacts et des acteurs impliqués, il est nécessaire d'appréhender cette problématique de façon intégrée en construisant une représentation systémique des efflorescences algales nuisibles sur l'espace Manche. Cette approche système visera notamment à répondre aux questions suivantes :

- Quels sont les impacts des HABs ?
- Quels sont les différents acteurs concernés par ce problème ?
- Quelles sont les différentes stratégies et processus mis en œuvre pour répondre à ce phénomène ?
- Quels sont les enjeux de ces stratégies de gestion ?
- Comment un système d'alerte en ligne pourrait contribuer à réduire les impacts économiques des HABs ? Ce système est-il suffisant pour diminuer les coûts liés aux HABs ?

Afin de répondre à la problématique ainsi posée, une identification de la chaîne d'impacts sera réalisée à partir d'une revue de la littérature, puis complétée et validée sur la base d'échanges avec les parties prenantes liées aux HABs.

Une analyse des données issues des réseaux de surveillance REPHY-REPHYTOX opérés par l'Ifremer permettra ensuite de caractériser les occurrences des efflorescences algales nuisibles en Manche. Enfin l'impact des HABs sur une activité économique sera illustré par une application à l'activité de la pêche à la coquille Saint-Jacques en Manche Est au travers de l'analyse de données issues du Système d'Information Halieutique (SIH) également opéré par l'Ifremer. Les activités de pêche seront confrontées aux occurrences de HABs par l'analyse des dynamiques et processus d'adaptation des flottilles impactées au regard des mesures de gestion

## Introduction

prises en œuvre et les apports d'un outil d'alerte en ligne. Cette analyse jettera les bases du processus de qualification et quantification des impacts des HABs sur les autres activités économiques et nourrira la réflexion sur la mise en œuvre d'un modèle d'économie régionale (I/O) par l'UMR AMURE pour l'évaluation économique des impacts liés aux HABs.

Le plan de ce travail consiste donc tout d'abord en une présentation dans un premier chapitre du phénomène des efflorescences phytoplanctoniques nuisibles, leur dynamique, leurs impacts et le besoin d'une approche intégrée. Un second chapitre présentera le système HABs en Manche, avec l'identification et la description de ses composantes. L'illustration des impacts des HABs sur l'activité de pêche à la coquille Saint-Jacques sera traitée dans un troisième chapitre. Enfin une discussion et une conclusion générale clôtureront le travail.

# Chapitre I : Dynamique des efflorescences algales nuisibles et problématiques sociétales associées

## 1. Définitions

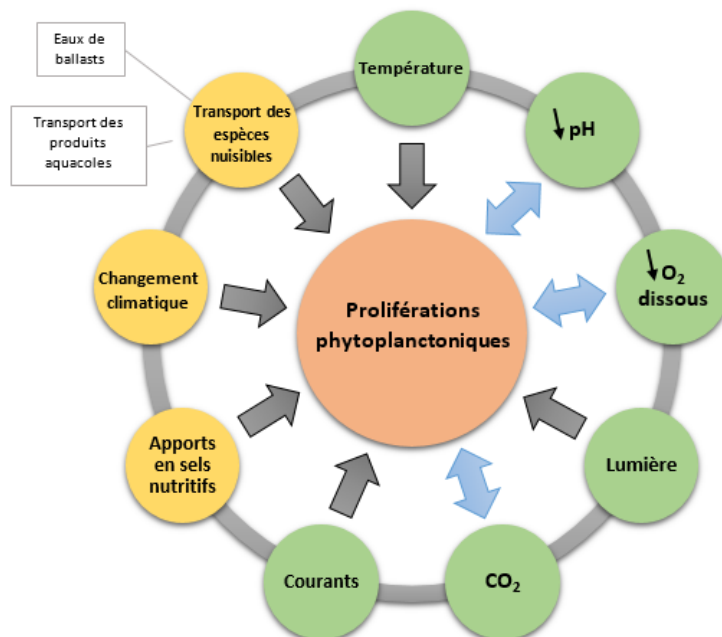
Composé de plusieurs milliers d'espèces, le phytoplancton est une composante essentielle des milieux aquatiques, il constitue le premier maillon des chaînes trophiques (Delegrange, 2015). Ce sont des organismes unicellulaires de formes très variées dont la taille varie entre 1 et 250  $\mu\text{m}$ . Sous certaines conditions, une partie de ces phytoplanctons est capable de proliférer en grande quantité et forme des efflorescences nuisibles ou « Blooms nuisibles ». Ces dernières sont définies par une prolifération rapide de phytoplanctons, toxiques ou non toxiques, dans un système aquatique, ayant des impacts écologiques et économiques importants qui touchent plusieurs secteurs. C'est un phénomène naturel complexe avec une durée assez variable, de quelques heures à plusieurs mois, et qui se produit sur plusieurs zones, marines ou d'eau douce, où les conditions de développement sont optimales (Anderson, 2009 ; Teen *et al.*, 2012 ; Sanseverino *et al.*, 2016).

Ces phénomènes sont aujourd'hui appelés « Harmful Algal Bloom » (HAB), une appellation internationale qui remplace le terme, très utilisé dans le passé, de « Red Tides » (marées rouges). Le terme de « *HAB* » n'est pas strictement scientifique, mais plutôt un descripteur socio-économique car il fait référence à la perception humaine de la « nuisance » et à la variété des événements négatifs dus aux micro-algues (Kudela *et al.*, 2015).

La définition suivante est donc adoptée : ***un ensemble hétérogène d'événements, qui ont comme caractéristiques communes : une origine phytoplanctonique, et des conséquences négatives sur les activités humaines*** (Zingone & Enevoldsen, 2000 ; Babin *et al.*, 2005).

## 2. Facteurs explicatifs des HABs

Comme tous les phytoplanctons, ces micro-organismes sont très sensibles à l'environnement, leur croissance dépend à chaque instant de plusieurs facteurs dont la lumière, le dioxyde de carbone et les sels nutritifs (Dauta, 1982 ; Groga, 2012) (Figure 1).



**Figure 1.** Facteurs expliquant l'augmentation des proliférations phytoplanctoniques nuisibles

Tout changement dans l'environnement engendre ainsi des modifications sur leur structure et leur comportement, ce qui rend complexe la compréhension de ces interactions. C'est pourquoi, les causes derrière les efflorescences microalgales sont toujours au cœur des débats scientifiques, avec plusieurs explications possibles :

- Des mécanismes globaux comme le changement climatique qui impactent les paramètres physico-chimiques de l'eau comme la température, le pH, la salinité et la circulation de l'eau (Dauta, 1982 ; Grogan, 2012 ; Kudela *et al.*, 2015 ; Sanseverino *et al.*, 2016).
- La compétition avec certains organismes et la prédation par d'autres dans le réseau trophique (Dauta, 1982).
- Des changements provoqués par les activités anthropiques, y compris l'enrichissement en nutriments qui favorise le phénomène de l'eutrophisation (Anderson *et al.*, 2002 ; Delegrange, 2015 ; Kudela *et al.*, 2015 ; Sanseverino *et al.*, 2016) ou bien encore le transport d'espèces algales nuisibles par les eaux de ballasts (Nunes & Markandya, 2008).

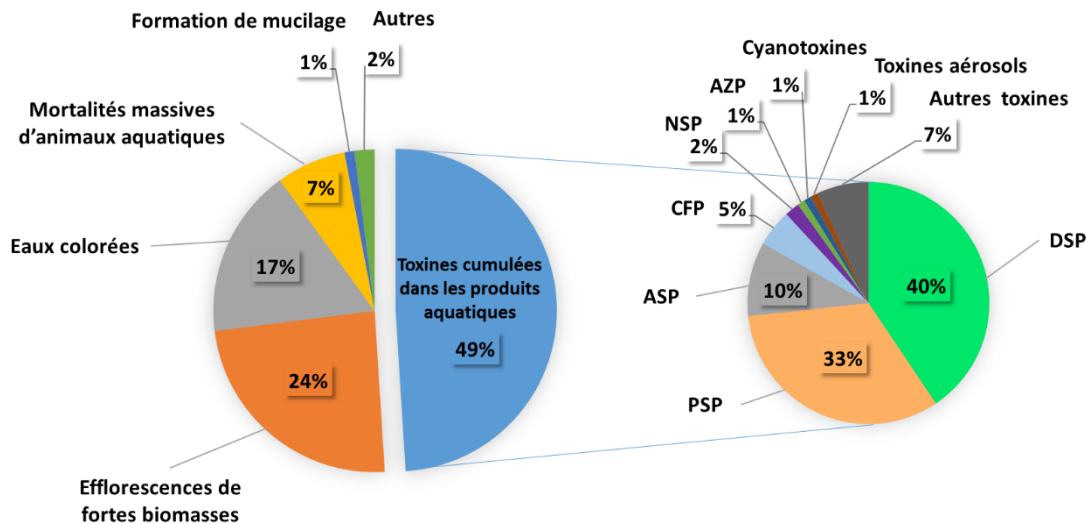
En raison de tous ces changements qui sont en augmentation, les HABs semblent se développer en terme d'occurrence, de répartition spatiale, et de diversité d'espèces impliquées, ce qui rend leur gestion plus difficile, et augmente leurs impacts (Gailhard, 2003 ; Hallegraeff *et al.*, 2004 ; (Miller *et al.*, 2006) ; Shen *et al.*, 2012 ; Watson *et al.*, 2015).

### **3. Taxons responsables des HABs**

Aujourd'hui, plus de 300 espèces (~7%) de phytoplanctons sont capables de proliférer en grandes quantités et forment des efflorescences microalgales. Cependant, ces espèces ne sont pas toutes nuisibles. Seulement quelques-unes ont des effets négatifs (Hallegraeff *et al.*, 2004), dont les Dinoflagellés qui représentent la majorité des organismes contribuant aux efflorescences en mer, environ 75%, entre 45 et 60 espèces, suivi des Diatomées. Les Cyanobactéries sont généralement dominants en eau douce (Grogan, 2012 ; Sanseverino *et al.*, 2016).

### **4. Types de nuisances générées par les HABs**

Le classement des types de nuisance liées aux HABs diffère selon les scientifiques, il est basé sur plusieurs critères comme par exemple l'espèce en cause du bloom. Mais la majorité des chercheurs les regroupent dans deux grandes catégories : les nuisances dues aux espèces non toxiques et celles causées par les espèces toxiques (Figure 2). Les taxons contribuant au deuxième groupe ne représentent que 3,5% de l'ensemble des phytoplanctons (90 espèces), néanmoins, elles sont considérées comme les plus dangereuses et elles contribuent à la majorité des nuisances, soit 48% des cas (Smayda, 1997 ; Hallegraeff *et al.*, 2004 ; Sanseverino *et al.*, 2016). Ces espèces peuvent libérer des toxines qui sont susceptibles de s'accumuler dans les poissons et les organismes filtreurs comme les mollusques bivalves, en les rendant impropre à la consommation (Davidson *et al.*, 2011).



**Figure 2.** Types de nuisances des efflorescences algales (Schweibold, 2017)

Les études réalisées sur les phytoplanctons toxiques et leurs toxines montrent que les maladies les plus connues causées par les HABs sont divisées en quatre groupes (Grattan *et al.*, 2016) :

- Les intoxications diarrhéiques par les fruits de mer (IDFM), en anglais "Diarrheic Shellfish Poisoning" (DSP), causées par l'ingestion de coquillages contaminés par des phycotoxines synthétisées par les Dinoflagellés du genre *Dinophysis* et *Prorocentrum*. Ces toxines appartiennent à la famille des toxines lipophiles.
- Les intoxications amnésiantes par les fruits de mer (IAFM), en anglais "Amnesic Shellfish Poisoning" (ASP), causées par la consommation de coquillages principalement les coquilles Saint-Jacques, les moules ou les palourdes, contaminées par des diatomées marines du genre *Pseudo-nitzschia*, fabriquant une neurotoxine dénommée acide domoïque.
- Les intoxications neurologiques par les fruits de mer (INFM), en anglais "Neurotoxic Shellfish Poisoning" (NSP), due à la consommation de mollusques ou de poissons contaminés par des Dinoflagellés du genre *Gymnodinium breve*, appelées aussi *Karenia brevis*, responsables de la synthèse d'une neurotoxine : la brévéttoxine.
- Les intoxications ciguatériques par les poissons (ICP), en anglais "Ciguatera Fish Poisoning" (CFP), suite à la consommation de poissons tropicaux contaminés par la ciguatera, une toxine de nature gastro-intestinale et neurologique libérée par des Dinoflagellés comme *Gambierdiscus toxicus* (mortalité < 1%).

Au niveau européen, les efflorescences d'algues toxiques sont suivies réglementairement selon trois groupes de phytoplanctons sont réglementés et obligatoires à suivre :

1. Les espèces produisant des toxines lipophiles (incluant les toxines DSP).
2. Les espèces produisant des toxines amnésiantes (ASP).
3. Les espèces produisant des toxines paralysantes (PSP).

## **5. Impacts des HABs**

### **5.1. Démarche**

L'identification des impacts des HABs ainsi que les activités et acteurs impactés a été conduite sur la base d'une revue de la littérature. Des cartes cognitives ont été construites à l'aide du logiciel *Xmind* pour synthétiser les résultats de cette recherche. Un atelier avec les parties prenantes liées aux HABs a ensuite été organisé afin de présenter, mettre en débat, corriger et valider ce travail pour en produire une vision partagée.

Une trentaine de parties prenantes réunissant des représentants de professionnels, chercheurs et gestionnaires ont participé à cet atelier qui s'est tenu à Caen le 16 mai 2018. La liste des personnes participantes est présentée en annexes (Annexe 1). L'atelier s'est organisé et structuré autour de trois posters représentant la cartographie des impacts des HABs, le réseau d'acteurs concernés (Annexe 2) et enfin le processus de gestion qui sera traité dans le chapitre II. Trois groupes ont ainsi été constitués d'une manière aléatoire pour faciliter les échanges et les interventions de tous les participants. Le travail s'est déroulé d'une manière participative et séquentielle, de sorte que les trois groupes ont pu discuter du contenu des trois posters.

Cette partie traite seulement la cartographie des impacts.

### **5.2. Résultats**

L'étude des conséquences liées aux occurrences des HABs montre que la nature et l'importance des impacts varient selon les espèces responsables des efflorescences et, selon la période à laquelle ces événements interviennent.

Les informations collectées (recherche bibliographique et résultats de l'atelier) pour construire la carte conceptuelle des impacts des HABs ont été regroupées en deux types d'impacts. Le premier représente toute la chaîne d'impacts sur l'environnement et les écosystèmes aquatiques et le second regroupe les effets sur les activités économiques liées à l'exploitation des ressources naturelles impactées (Figure 3).

#### **5.2.1. Impacts écologiques**

Plusieurs travaux ont été utilisés pour effectuer la synthèse des impacts écologiques des HABs dont les suivants : (Zingone, Enevoldsen, 2000) ; (Grogan, 2012) ; (Belin *et al.*, 2013) ; (Delegrange, 2015) ; (Watson *et al.*, 2015).

Selon ces travaux, l'impact des HABs sur l'environnement et les populations aquatiques se décline de plusieurs manières, directes ou indirectes, entraînant un dysfonctionnement de tous l'écosystème marin. Les efflorescences phytoplanctoniques peuvent ainsi avoir des conséquences sur l'environnement et les écosystèmes aquatiques mais elles peuvent également être provoquées par les changements environnementaux. La description de ces impacts a été effectuée en tenant compte des effets rétroaction existants.

La dégradation de l'environnement représente le début de la chaîne d'impacts, avec plusieurs effets induits sur les populations aquatiques.

Certains phytoplanctons peuvent proliférer en grande biomasse et modifier les propriétés physico-chimiques de l'eau (augmentation de la turbidité qui empêche la pénétration de la lumière, acidification de l'eau, augmentation de la viscosité de l'eau, diminution de l'oxygène dissous, etc.).



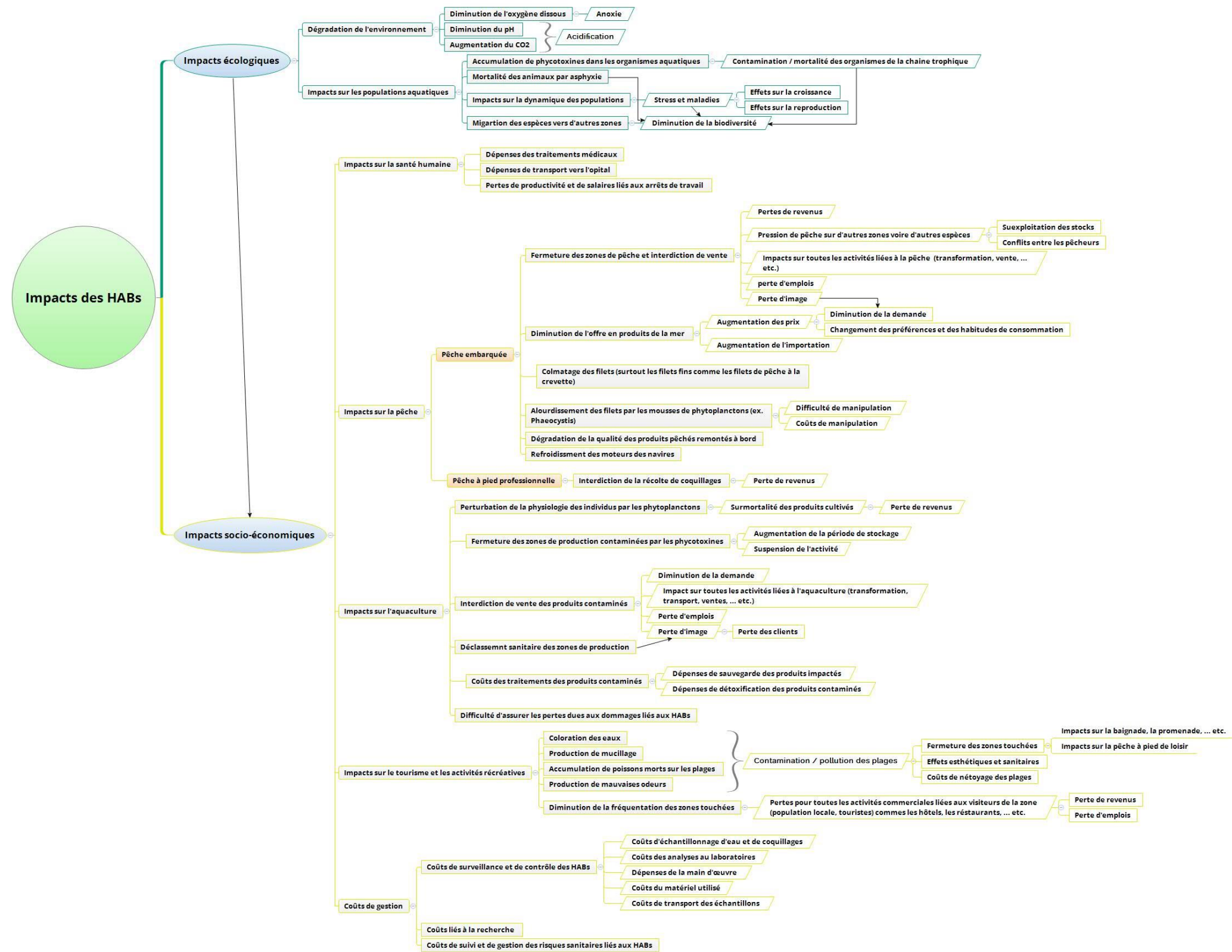


Figure 3. Carte conceptuelle de la chaîne d'impacts des HABs



Ils perturbent ainsi la biodiversité des milieux aquatiques (mortalité ou bien migration de différents organismes marins : poissons, oiseaux, mammifères marins, etc.). D'autres phytoplanctons peuvent directement impacter les populations aquatiques par la libération de toxines qui provoquent des mortalités le long de la chaîne trophique, ou par la production de mucus qui engendre des lésions mécaniques tel que le colmatage ou l'altération des branchies. Ils peuvent aussi perturber la dynamique des populations, notamment la croissance et la reproduction.

### **5.2.2. Impacts socio-économiques**

Aux impacts sur les écosystèmes sont associées des conséquences socioéconomiques supportées par la population, le gouvernement et plusieurs secteurs d'activités économiques et non économiques dépendantes de la qualité des eaux marines et côtières.

De nombreuses études ont porté sur l'estimation économique des pertes liées aux occurrences de HABs. Cependant, ces estimations sont très générales et grossières et il n'existe actuellement aucune évaluation globale précise de ces impacts.

Selon Berdalet *et al.* (2016), les raisons expliquant les incertitudes de ces estimations sont liées à la nature épisodique imprévisible des occurrences de HABs et leurs vaste distribution géographique, la grande variabilité des effets engendrés, la diversité des réponses individuelles et collectives des acteurs affectés par ces phénomènes. La grande variété des méthodes d'estimation est également une des raisons du flou des estimations. Certaines méthodes donnent des estimations qui ne peuvent pas être comparables à d'autres (les ventes, les impacts indirects des HABs, le surplus des consommateurs et/ou des producteurs ...).

Malgré cette complexité de l'évaluation, certains impacts peuvent être estimés, notamment les effets sur la santé humaine, la pêche et l'aquaculture, le tourisme et les activités de loisir, en prenant en compte toutes les dépenses liées à la recherche et à la surveillance des événements HABs. Cependant, il est admis selon la littérature que l'évaluation économique des impacts des HABs sur la santé humaine et les activités non économiques (ex. activités récréatives) est très compliquée et les coûts sont difficiles à estimer.

On peut distinguer quatre types d'impacts qui peuvent être liés aux HABs :

- Les impacts sur la santé humaine,
- Les impacts sur la pêche et l'aquaculture,
- Les impacts sur le tourisme et les activités de loisir,
- Les impacts sur l'Administration (coûts de gestion et de surveillance).

Les sections suivantes caractériseront chacun de ces types d'impacts.

#### **5.2.2.1. Impacts sur la santé humaine**

Le risque des HABs sur la santé humaine représente l'impact le plus dangereux des HABs, il est dû aux proliférations des phytoplanctons toxiques. Les phycotoxines produites sont susceptibles de s'accumuler dans les mollusques bivalves et quelques espèces de poissons et de crustacés, et les rendre impropre à la consommation.

En termes économiques, ces impacts peuvent être traduits par deux types de pertes, le premier s'exprime par la somme de tous les coûts de traitements médicaux notamment les dépenses de

transport vers l'hôpital, les coûts de consultations médicales et des médicaments, etc. Le second représente l'ensemble des pertes de productivité et de salaires liés aux arrêts de travail.

Cependant, il est évident que les coûts sanitaires liés directement aux HABs sont difficiles à mesurer, car il n'existe pas un suivi médical particulier permettant d'enregistrer les cas d'intoxication liés aux HABs et les distinguer des cas liés aux autres intoxications alimentaires.

#### **5.2.2.2. Impacts sur la pêche**

En plus de leurs impacts directs sur la santé humaine, les HABs peuvent impacter les ressources halieutiques, ce qui peut mettre les professionnels en difficultés économiques.

Les professionnels de la pêche peuvent subir des impacts et des coûts de manières très diverses, en fonction de plusieurs facteurs.

La présence de toxines dans les coquillages (par filtration de l'eau contaminée) entraîne des fermetures de zones de pêche et des interdictions de commercialisation pendant toute la période de toxicité. Cela engendre une chaîne d'effets en cascade, dont l'effet direct concerne les pertes de revenus à court terme. Ainsi, la contamination des coquillages peut entraîner une diminution de l'offre en produits pêchés et donc une augmentation des prix de vente et des importations. Elle peut également menacer l'image de l'activité au travers de la perte de confiance de la part des consommateurs et par conséquent la diminution de la demande et le changement des préférences et des habitudes de consommation.

Les interdictions de pêche peuvent également impacter d'autres zones de pêche lorsqu'il y a de report d'effort d'une zone contaminée vers une autre non contaminée, notamment lorsqu'il s'agit d'espèces en état de surexploitation. Les déséquilibres peuvent être générés au sein de la pêcherie affectée par les fermetures et par effet de report associé à des changements de métier ou d'espèces ciblées, ce qui est le cas par exemple de fermetures de très longue période. Cela peut conduire à des conflits entre pêcheurs.

Les impacts liés aux épisodes toxiques représentent la majorité des pertes économiques, cependant, il existe d'autres effets liés à l'occurrence d'efflorescences non toxiques. L'événement le plus connu en France est le bloom de *Phaeocystis* qui se manifeste principalement en Manche Est en produisant un dense mucilage dans l'eau et qui gêne l'activité de pêche. L'impact de ces efflorescences se traduit par un mauvais refroidissement des moteurs des navires et un colmatage des engins de pêche (filets passifs et filets à tailles fines comme ceux utilisés pour la pêche à la crevette). Ces engins sont ainsi alourdis et difficiles à manipuler par les pêcheurs. Il se traduit également par la dégradation de la qualité du poisson remonté à bord, ce dernier devient gluant et malodorant et nécessite de nombreux lavages. Cela engendre des manipulations et des coûts supplémentaires supportés par les pêcheurs.

#### **5.2.2.3. Impacts sur l'aquaculture**

Comme pour la pêche, le secteur de l'aquaculture, principalement la conchyliculture, est fortement impacté par les HABs.

Ces impacts se traduisent de différentes manières. La première concerne les interdictions de vente suite à un événement de toxicité de coquillages, conduisant à une période de stockage et la suspension de l'activité commerciale. Cela met les producteurs en difficulté à cause de la baisse du chiffre d'affaire, l'insuffisance de trésorerie et des pertes d'emplois.

La seconde se traduit par les pertes associées aux surmortalités causées par la présence des espèces toxiques. La modification qualitative et quantitative des ressources trophiques peut être à l'origine d'un déficit énergétique perturbant la physiologie des individus, de même que l'anoxie du milieu. Cela concerne principalement les mollusques bivalves mais aussi les poissons. Delegrange (2015) a ainsi montré qu'au niveau de la ferme piscicole **Aquanord**, en baie sud de la mer du Nord, des mortalités massives (jusqu'à 20% de la mortalité annuelle) et récurrentes de bar ont été enregistrées depuis plus de dix ans. Ces mortalités ont eu lieu au printemps et semblent dues aux efflorescences printanières de *Phaeocystis globosa* et *Pseudo-nitzschia* sp car les services vétérinaires et de surveillance microbiologique ont confirmé l'absence de pathologie associée aux mortalités observées.

Les HABs peuvent aussi impacter l'image de l'activité. En effet, l'interdiction de la vente et le déclassement sanitaire des zones de production peuvent entraîner une perte de confiance et un changement des préférences des consommateurs, ce qui engendre une baisse de la demande des produits provenant des zones concernées. A cela s'ajoutent les coûts des traitements des produits contaminés liés aux dépenses de sauvegarde et de détoxification.

Par conséquent, les HABs peuvent impacter l'ensemble de la chaîne de valeur et les industries associées, y compris la transformation, la distribution, la vente (gros et détail).

#### **5.2.2.4. Impacts sur le tourisme et les activités récréatives**

Le tourisme côtier et maritime est une source majeure de création d'emplois et de croissance économique. Le développement du secteur du tourisme et des activités récréatives dépend d'une bonne qualité de l'eau, et durant les épisodes d'efflorescences algales, ce secteur peut être également impacté.

Les impacts des HABs sur ce secteur se manifestent au travers de la baisse de fréquentation des zones touchées par ce phénomène et tous ses effets induits. En effet, la coloration des eaux, la production de mucilage, l'accumulation des poissons morts sur les plages et la production de mauvaises odeurs entraînent plusieurs effets esthétiques et sanitaires. De ce fait, lors d'un épisode HABs, l'accès aux zones concernées est interdit ce qui impacte plusieurs activités de loisir tel que la baignade, la promenade ou la pêche à pied, etc. La fréquence de visites dans ces zones diminue et influence toutes les activités commerciales liées aux visiteurs (population locale ou touristes), principalement les hôtels et les restaurants. Ces impacts se traduisent par des pertes de revenus et d'emplois.

La perte de confiance des consommateurs par rapport aux produits aquatiques touchés par les HABs engendre une perte d'image touristique du secteur touché (pêche et aquaculture), et donc une baisse de la demande qui entraîne une baisse des prix et par conséquent conduit à une diminution des revenus des restaurants offrant ces produits.

#### **5.2.2.5. Coûts de gestion**

Pour chaque secteur touché par les HABs, des stratégies et des mesures de gestion sont mises en place afin de protéger la santé publique, et diminuer les impacts sur les écosystèmes aquatiques et les activités économiques. Cependant, la mise en œuvre de ces mesures n'est pas facile et génère des coûts importants.

La surveillance et le contrôle représentent la majeure partie des investissements et des efforts de gestion. Les effets économiques liés à la surveillance englobent tous les coûts d'échantillonnage de l'eau et des coquillages, les coûts des analyses en laboratoire, ainsi que

les dépenses de main d'œuvre, le matériel utilisé, etc. D'autres coûts s'expriment par l'ensemble des mesures prises après l'apparition du phénomène. Il s'agit des dépenses liées aux traitements des eaux et aux nettoyages des plages, les coûts liés à la reconquête de l'image des secteurs touchés par les HABs (communication, publicité).

A ces coûts s'ajoutent également les coûts de la recherche pour une meilleure compréhension et un meilleur suivi du phénomène ainsi que la recherche de points de leviers pour diminuer les impacts des HABs.

## **6. Caractérisation des HABs en Manche**

Le jeu de données utilisé pour analyser les événements d'efflorescences phytoplanctoniques nuisibles en Manche est issu du réseau REPHY (Réseau d'Observation et de Surveillance du Phytoplancton et de l'Hydrologie dans les eaux littorales) et du réseau REPHYTOX (Réseau de Surveillance des Phycotoxines dans les organismes marins) mis en œuvre par l'IFREMER.

### **6.1. Présentation de la zone d'étude**

L'étude porte sur l'espace France Manche, au sens réglementaire du programme Interreg France (Manche) Angleterre, c'est-à-dire l'ensemble du littoral des régions limitrophes de la Manche. La zone d'étude s'étend par conséquent du détroit du Pas-de-Calais (50°57'N, 1°51'E) à l'Est jusqu'à l'estuaire de la Vilaine à l'Ouest (47°28'00"N, 2°28'52"W). Elle comprend trois régions administratives : Hauts-de-France, Normandie et Bretagne. Elle concerne toute la Manche du Pas-de-Calais à Brest et la partie nord-est de l'Atlantique entre Brest et l'estuaire de la Vilaine.

La Manche est une mer située dans le Nord-Ouest de l'Europe, elle sépare le nord de la France et le sud du Royaume-Uni, et elle communique avec la mer du Nord par le Pas-de-Calais à l'est et avec l'Atlantique par la mer Celtique à l'ouest (Figure 4).

Elle présente des particularités morphologiques, hydrologiques et biologiques, très différentes des autres façades du littoral français. C'est une zone peu profonde, très riche en oxygène dissous et en sels nutritifs, et caractérisée par un fort hydrodynamisme et donc une grande variabilité des paramètres physico-chimiques à l'échelle temporelle et spatiale (Carpentier *et al.*, 2009 ; Houliez, 2012 ; Morvan, 2012 ; Glegg *et al.*, 2015).

Sa localisation géographique en fait une zone stratégique d'un point de vue écologique, culturel et socio-économique (Carpentier *et al.*, 2009). C'est un espace très riche en biodiversité et en productivité, il constitue aussi une voie de migration de nombreuses espèces de poissons, d'oiseaux et de mammifères marins. Cet espace maritime est depuis longtemps le siège de multiples activités : pêche et aquaculture (principalement la conchyliculture), tourisme et activités de loisir, transport maritime, etc., et présente des avantages économiques importantes. Les événements HABs constituent donc une menace significative sur cet espace.

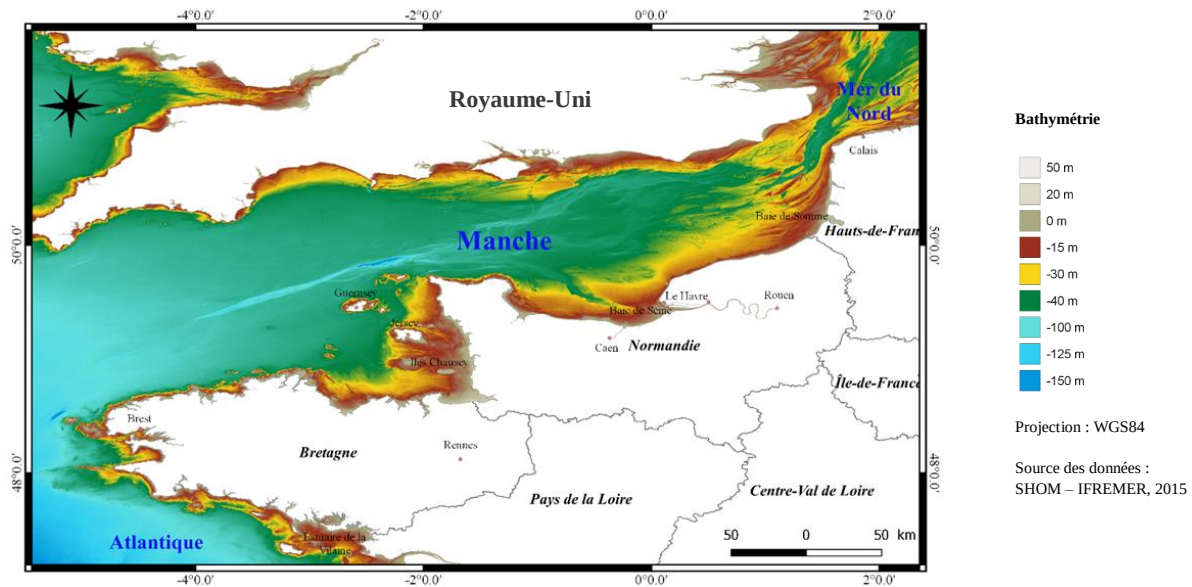


Figure 4. Carte de localisation de la zone d'étude

## 6.2. Etude des évènements HABs

L'objectif est d'étudier les périodes d'occurrence d'*Alexandrium*, de *Dinophysis*, et de *Pseudo-nitzschia* dans l'espace Manche, leurs périodes d'alerte ainsi que leur tendance et leur saisonnalité sur une période de 30 ans de 1988 à 2017. Pour cela, les données historiques d'identification et de dénombrement des phytoplanctons fournies par le réseau REPHY ont été utilisées.

Dans cette analyse, deux indicateurs ont été utilisés : l'abondance moyenne mensuelle de phytoplanctons toxiques, et le nombre mensuel et annuel d'alertes de phytoplancton toxique.

Une **alerte** est définie par la présence de phytoplanctons toxiques dans l'eau de mer à des concentrations supérieures aux « seuils d'alerte phytoplancton », et qui déclenche la recherche des phycotoxines dans les coquillages. Ces seuils sont spécifiques pour chaque groupes d'espèces de phytoplanctons toxiques (Annexe 3).

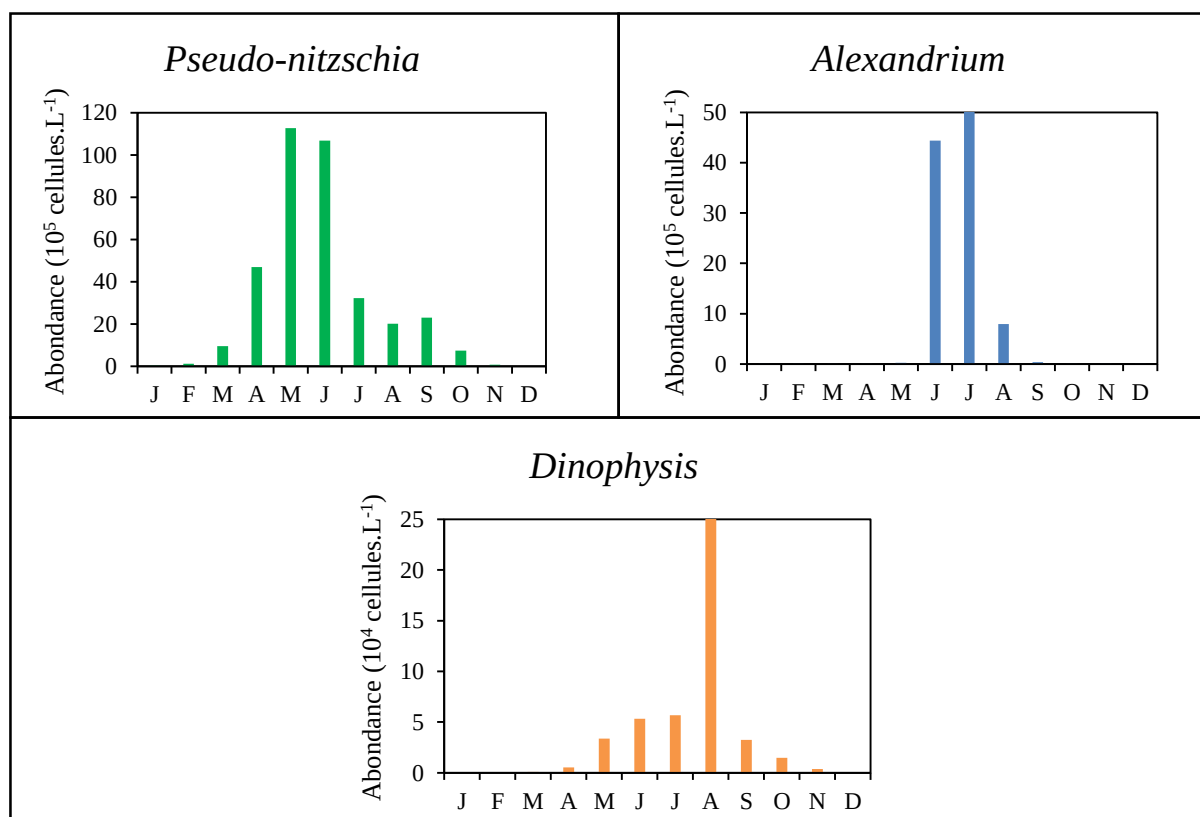
### 6.2.1. Résultats d'analyse

L'analyse des données historiques d'identification et de dénombrement des phytoplanctons toxiques montre que les trois genres de phytoplanctons étudiés sont présents toute l'année mais leur prolifération est saisonnière. Entre 1988 et 2017, les abondances moyennes du genre *Alexandrium* et *Dinophysis* sont observées en été, aux mois de juin, juillet et août pour *Alexandrium*, et au mois d'août pour *Dinophysis*. La prolifération de *Pseudo-nitzschia* est plutôt printanière, entre avril et juin (Figure 5). Une succession d'occurrences est donc remarquée : un bloom de *Pseudo-nitzschia* qui intervient en printemps, suivi d'une prolifération d'*Alexandrium* à partir de juin et enfin une efflorescence de *Dinophysis* qui se manifeste en août. L'évolution temporelle de *Pseudo-nitzschia* montre une tendance à l'augmentation en termes d'abondance et de fréquence d'occurrence comparé aux espèces de *Dinophysis* et d'*Alexandrium* (Annexe 5).

L'étude des abondances moyennes par région a permis d'analyser la répartition des trois genres dans la zone d'étude et de montrer les variations de leurs occurrences. *Alexandrium* est plus abondant en Atlantique Nord-Est et en Manche Ouest, alors qu'il n'a jamais été détecté en

Manche Est. *Dinophysis* est plus présent en Manche Est, alors qu'il est moins abondant en Atlantique Nord-Est et dans les côtes de la Manche Ouest. Les espèces de *Pseudo-nitzschia* sont abondantes dans les côtes des trois zones, avec des maximums en Manche Est et en Atlantique Nord-Est (Annexe 7).

Ces variations pourraient être expliquées par le fait que la croissance et la distribution de chaque espèce phytoplanctonique sont contrôlées par différents facteurs environnementaux, biotiques et abiotiques. Ceci implique que les blooms phytoplanctoniques peuvent être variables en intensité et en biodiversité en réponse aux changements rapides des paramètres de l'eau de mer.



**Figure 5.** Abondance moyenne interannuelle de phytoplanctons toxiques

L'évolution temporelle du nombre d'alertes de phytoplanctons montre des grandes fluctuations d'une année à l'autre, avec une tendance de diminution à partir de 2003. Ces fluctuations pourraient être expliquées par la variation des conditions environnementales. L'évolution temporelle montre également la périodicité de proliférations phytoplanctoniques, permettant d'enregistrer les périodes à risque durant lesquelles le développement des cellules est important, afin de prévoir les futurs événements. Les événements les plus marqués ont été observés entre 1988 et 1998, avec un maximum d'alertes en juin 1988 (157 alertes) (Annexe 6), et un totale annuel de 583 alertes (Annexe 8).

En effet, l'étude de la périodicité ne suffit pas pour prédire le potentiel de risque de ces proliférations. La libération de toxines est fonction de plusieurs facteurs liés à l'environnement et à l'espèce phytoplanctonique elle-même, et encore l'accumulation de ces toxines dans les organismes marins dépend de l'espèce et de la nature de toxine.



### 6.3. Etude des épisodes toxiques

L'étude des épisodes toxiques est l'étude des événements toxiques dus aux proliférations des trois taxons de phytoplanctons (*Alexandrium*, *Dinophysis* et *Pseudo-nitzschia*) étudiés dans la partie précédente. Il s'agit de l'analyse des épisodes de toxicité, leur tendance, fréquence et intensité, en utilisant comme indicateur le nombre de résultats non conformes d'analyse de phycotoxines sur la période 1988 – 2017. Pour ce faire, les données historiques du réseau REPHYTOX ont été utilisées. Ce sont des données de résultats d'analyse de phycotoxines dans les coquillages, exprimées en teneurs de toxines par kg de chair de coquillage.

L'extraction des données a été faite à partir de la base Quadrigé<sup>2</sup> de l'Ifremer. Seules les données utilisées pour la surveillance réglementaire de phycotoxines ont été prise en compte. Les critères de choix de ces données sont résumés dans l'annexe 9.

#### 6.3.1. Définitions

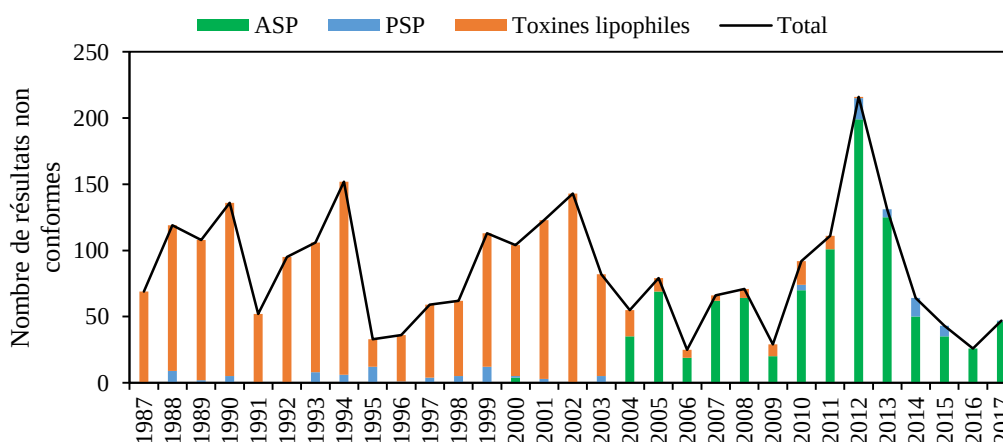
Un **épisode de toxicité** est défini par la présence de phycotoxines (ASP, PSP ou Toxines lipophiles) dans les coquillages. Cet épisode peut être multi-toxines, c'est-à-dire présence simultanée de plus d'un groupe de toxines dans les coquillages.

Un **résultat non conforme** d'une analyse de phycotoxines est défini par la présence de toxines dans les coquillages à des concentrations supérieures aux « seuils réglementaires de sécurité sanitaire » définis dans le règlement (CE) N°853/2004 du 29 avril 2004 (annexe III, section VII, chapitre V). Ces seuils sont présentés dans l'annexe 4.

#### 6.3.2. Résultats d'analyse

L'évolution annuelle du nombre de ces résultats est caractérisée par des fluctuations de grandes amplitudes (Figure 6). Ce qui confirme l'hypothèse de grande variabilité de la libération des toxines et leur accumulation dans les coquillages. Durant toute la série temporelle étudiée, on peut remarquer quatre pics d'épisodes de toxicité : en 1990, 1994, 2002, et en 2012 l'année présentant le plus grand nombre d'événements. Il y a une dominance des toxines lipophiles entre 1987 et 2003, mais ensuite une dominance des ASP à partir de 2004. Les PSP ne présentent qu'un petit nombre de cas de toxicité.

En France, les premiers épisodes de toxicité ont été enregistrés en 1984, pour les toxines lipophiles, en 1988 pour les toxines paralysantes, et en 2000 pour les toxines amnésiantes.



**Figure 6.** Evolution temporelle du nombre de résultats non conformes d'analyses de phycotoxines

### Résumé du chapitre I

L'objectif de ce chapitre était de mettre en évidence la problématique des HABs et d'étudier leur dynamique en Manche.

En effet, les HABs représentent un phénomène naturel qui est considéré parmi les problèmes majeurs de l'environnement aquatique. L'espace Manche est un lieu d'occurrences importantes de HABs, une fréquence à l'augmentation est remarquée surtout pour les espèces du genre *Pseudo-nitzschia*. Etant donné la richesse et l'importance économique de ces côtes, les HABs peuvent présenter une menace significative et de nombreux impacts.

Ces impacts, directs et indirects, sont divers en terme de nature (écologiques, économiques et sociaux) et du potentiel de risque. Ainsi, cette étude montre la succession des occurrences d'espèces toxiques, et la dominance de quelques-unes par rapport aux autres, ce qui pourrait accentuer ce phénomène car chaque espèce peut être source d'impacts différents. En Manche, les épisodes de toxicité dus aux ASP dominent à partir de 2004, leurs occurrences sont plus fréquentes par rapport aux contaminations due aux toxines lipophiles qui dominaient depuis les années 80. Cela pourrait présenter un risque important surtout pour la pêche à la coquille St-Jacques, espèce de grande importance économique en Manche et en même temps une espèce problématique des contaminations par les ASP.

La nature complexe des HABs, leurs variabilité spatio-temporelle et leurs diversité d'impacts, nécessitent de les étudier de façon dynamique, intégrée et multidimensionnelle, permettant d'avoir une vision holistique et partagée du phénomène.



## Chapitre II : Le système HABs en Manche

Ce chapitre vise à identifier les composantes du système HABs en Manche, et décrire les différentes réponses apportées aux occurrences de HABs.

Ainsi que décrit au chapitre I, le phénomène des HABs est de nature complexe, et les réponses à apporter sont toujours l'objet de débats. En effet, ce genre de questionnements nécessite de prendre en compte l'ensemble des facteurs qui influencent leur apparition, les réponses mises en place, les acteurs concernés, et l'ensemble des interactions entre tous les éléments de ce système. Pour construire, décrire et analyser ce système, la dynamique des systèmes et l'approche système proposent une démarche holistique adaptée en intégrant l'ensemble des relations et processus qui unissent les composants du système. Cette approche est mise en œuvre de façon participative afin de prendre en compte l'ensemble des connaissances (scientifiques, gestionnaires, professionnels, citoyens, etc.) et arriver à une vision commune et partagée du système HABs en Manche. Cette approche système a également été privilégiée afin de capturer la dynamique des différents processus qui pourraient à terme servir de leviers d'action pour la gestion des événements HABs.

Au-delà du mémoire, cette approche pourrait ainsi aider à essayer d'anticiper l'évolution du système HABs : impacts, acteurs impliqués, système de gestion, pour une meilleure compréhension des différents liens et interactions qui existent entre les différentes composantes du système.

### 1. L'approche système

L'analyse systémique est une approche conceptuelle globale d'un phénomène ou d'un système donné, basée sur une formulation de relations de type cause/effet, décrivant les différents processus, jeux d'acteurs et leurs interactions (Houet *et al.*, 2008). C'est donc une approche qui permet d'avoir une vision globale sur le problème, en prenant en compte son contexte, les différents éléments dans lesquels il s'inscrit ainsi que les relations et les interactions entre ces éléments.

L'étude du phénomène des HABs par l'approche système cherche à mettre en relation les dimensions écologiques, économiques et sociales de ce système, en tenant compte des boucles de rétroaction reliant ses différentes composantes, et ainsi étudier la dynamique de ce phénomène face aux différents changements et stratégies de gestion mises en place. L'objectif est de comprendre et décrire l'évolution d'un système assez complexe comme les HABs de manière simple et facile à utiliser par les différentes disciplines et acteurs.

La mise en œuvre de cette approche est progressive, elle se décompose en quatre étapes : La problématisation est une première étape pendant laquelle le système à étudier est construit. Elle consiste à définir les limites du système et ses principales composantes, le situer dans son environnement et d'avoir une idée sur la nature des liaisons entre les composantes. A partir de ces informations, la deuxième étape, consiste à structurer le système et réordonner ses composantes, en visualisant l'ensemble des interactions. Il s'agit d'une représentation schématique par des graphiques de réseaux, des diagrammes ou des cartes conceptuelles et/ou mentales. La formulation mathématique permet ensuite, d'analyser les composantes du système et les différentes réponses, à l'aide de méta-analyses et/ou des modèles numériques. Enfin la

scénarisation permet d'observer l'évolution temporelle de la dynamique du système au travers des simulations et des scénarios de gestion et d'évolution.

## 2. Identification des composantes du système HABs dans un cadre DPSIR

Pour identifier les composants du système HABs et de ses sous-systèmes, l'inventaire des activités et processus en interaction est nécessaire. Afin de faciliter cette identification, une approche de type causes/effets a été adoptée au travers d'un modèle DPSIR (Drivers, Pressures, State, Impact, Response).

### 2.1. Le DPSIR

Le modèle **DPSIR** (Drivers, Pressures, State, Impact, Response) est un modèle conceptuel qui sert à décrire les interactions et les liens de causalité entre l'environnement et la société, permettant d'avoir des réflexions autour des enjeux environnementaux assez compliqués à gérer. Ce modèle adopté en 1998 par l'Agence Européenne de l'Environnement, est à la base proposé pour répondre aux enjeux environnementaux, mais il est actuellement utilisé dans de nombreux autres cas d'application (EEA, 1999 ; Reis *et al.*, 2015).

Les *forces motrices* (D) regroupent les facteurs expliquant les *pressions* (P) exercées sur le système. Par conséquent, l'*état* ou la situation (S) de l'environnement est affecté, induisant des *impacts* (I) écologiques et socio-économiques. En réponse à ces impacts, la société réagit par des *réponses* (R) en mettant en œuvre des mesures adaptées à la situation. Ces réponses influencent à leur tour l'aspect ou la structure du système représenté.

### 2.2. Application du modèle DPSIR aux HABs

Le modèle DPSIR est adopté pour identifier les différentes composantes du système HABs et les relations qui les unissent. Ce modèle servira ensuite de base pour construire la carte conceptuelle du système HABs en Manche.

L'application de ce modèle au cas des HABs est représenté à la Figure 7.

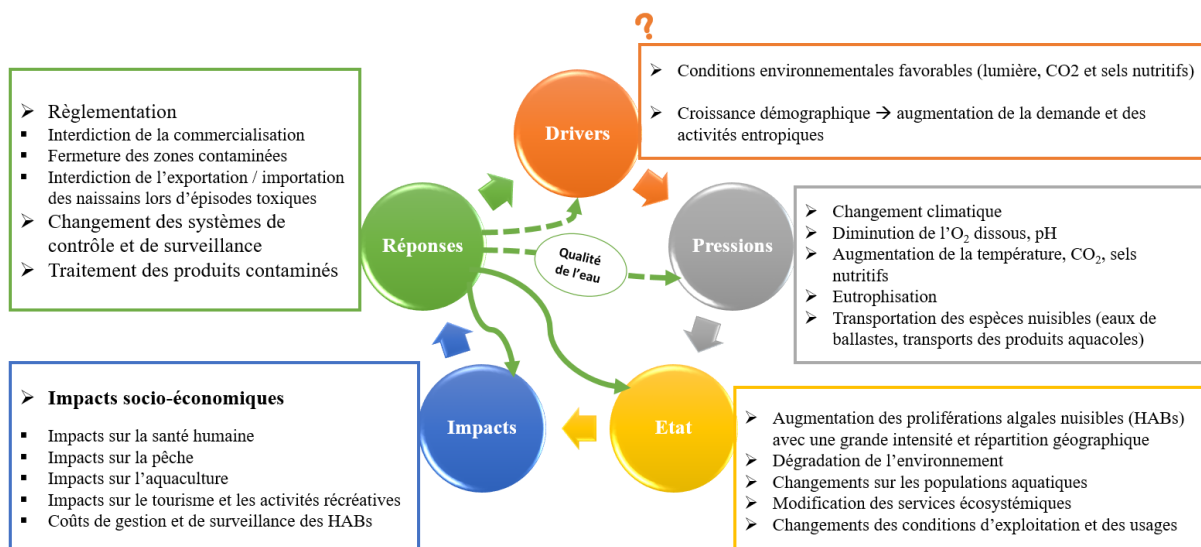


Figure 7. Représentation DPSIR de la problématique HABs

Les forces motrices (D) présentant les facteurs expliquant les occurrences des HABs sont toujours en débat et regroupent des conditions environnementales favorables au développement mais aussi la croissance démographique qui provoque une augmentation des activités entropiques et des pressions (P) induites sur l'environnement. Cet indicateur ne sera pas abordé en détail dans ce travail.

L'indicateur de pressions (P) est décrit par l'ensemble des changements globaux dans les compartiments environnementaux, notamment le changement climatique (diminution de l'oxygène dissous, acidification des océans), l'eutrophisation, le transport des espèces exotiques et nuisibles, etc.

Dans cette étude, l'état ou la situation (S) ne représente pas seulement l'état environnemental mais intègre plutôt l'ensemble des dimensions environnementales, sociales et économiques. Il concerne ainsi, l'augmentation des HABs en termes d'occurrences et de répartition spatiale, la dégradation de l'environnement et les changements sur les populations aquatiques, la modification des services écosystémiques, et enfin les changements des conditions d'exploitation et des usages.

La variation ou changement d'état (S) génère des impacts (I) sur la société au travers des menaces sur la santé humaine et sur des usages non marchands (valeurs d'existence, perte patrimoniale, etc.), sur les activités économiques sur la gestion des zones côtière (ex. coûts de surveillance).

A partir de ces éléments DPSIR, on peut ainsi identifier trois grandes composantes : l'Ecologie, les Activités et la Gestion. Ces trois composantes vont structurer le système HABs.

### **3. Présentation du système HABs en Manche**

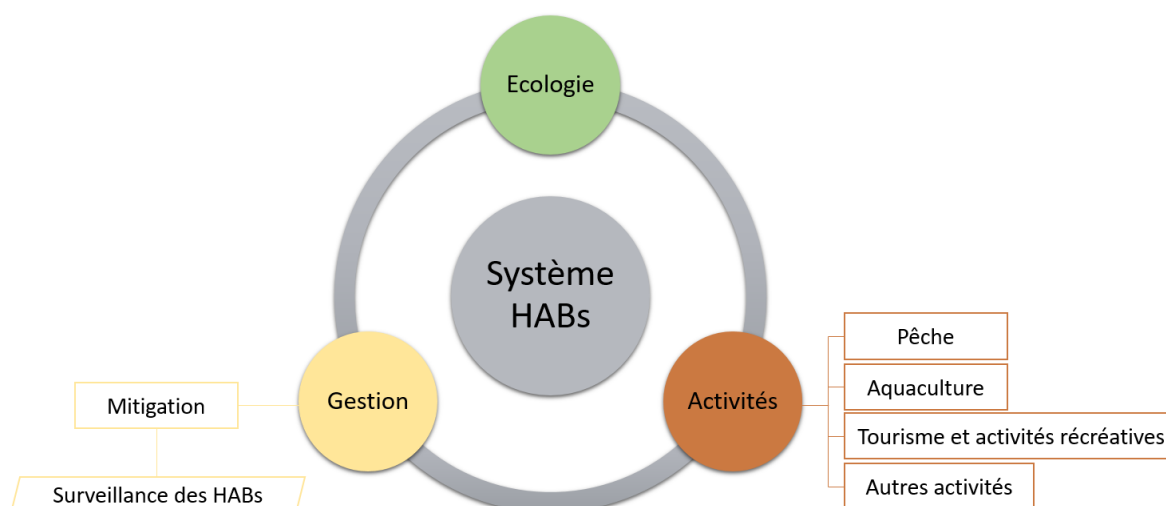
A partir du modèle DPSIR, les grandes composantes du système HABs ont pu être identifiées. Il s'agit de l'Ecologie, des Activités et de la Gestion. Ces trois composantes sont appelées à devenir les sous-systèmes élémentaires du système HABs (Figure 8).

La composante **Ecologie** représente tout ce qui concerne les écosystèmes aquatiques, notamment les relations environnement-occurrences de HABs (efferts feedback), son analyse ne sera pas abordée dans ce travail.

L'élément **Gestion** met en œuvre les réponses possibles pour diminuer les impacts des HABs, il s'agit de définir le protocole de surveillance des HABs en Manche, ainsi que les décisions des gestionnaires et leur processus de mise en œuvre.

La composante **Activités** quant à elle, décrit les différentes réactions et adaptations des usagers concernés ou impactés par le phénomène des HABs face aux décisions des gestionnaires. Ces usages sont représentés principalement par la pêche, l'aquaculture, le tourisme et les activités récréatives.

Chacune de ces composantes sera donc détaillée. La figure 9 illustre le schéma conceptuel du système HABs en visualisant les différents liens entre ses composantes.



**Figure 8.** Représentation synthétique des sous-systèmes du système HABs en Manche

### 3.1. Le sous-système Gestion des HABs

Pour protéger la santé humaine, et diminuer les risques sur les écosystèmes aquatiques et les activités économiques liés aux HABs, un système de gestion est mis en place. Ce système est plus ou moins complexe selon les pays et le degré des risques.

Il existe ainsi différentes stratégies de gestion. En France la stratégie adoptée est l'adaptation aux événements et la mitigation des risques. Cette stratégie s'appuie sur un réseau de surveillance et d'alerte.

En effet, s'il est aujourd'hui impossible d'éliminer les HABs, il reste possible de prévenir leurs occurrences et ainsi éviter un certain nombre d'impacts, en particulier les risques sur la santé humaine. Cela est fait au travers du suivi des phytoplanctons nuisibles.

#### 3.1.1. Le cadre réglementaire

La surveillance des HABs en France a commencé en 1984, après les premières intoxications diarrhéiques de 1983 recensées en Bretagne et en Normandie, alors que la réglementation n'a été établie qu'à partir de 1991. Depuis, la surveillance des phytoplanctons toxiques et leurs toxines est strictement réglementée afin de renforcer la qualité et la sécurité des produits destinés à la consommation humaine. Cette réglementation, a été révisée plusieurs fois et a subi des modifications au cours du temps (Afssa, 2008). Elle concerne les familles de toxines suivies, les méthodes et les protocoles d'analyse.

En France comme pour les autres pays d'Europe, seuls les phytoplanctons produisant des toxines lipophiles, des toxines amnésiantes et des toxines paralysantes sont réglementés et obligatoirement suivis, avec des seuils réglementaires de concentration à ne pas dépasser. Les méthodes d'analyse de toxines accumulées dans les coquillages varient selon la toxine recherchée, et elles suivent l'évolution de la réglementation de la surveillance des toxines.

### **3.1.2. Processus de surveillance et de gestion des HABs**

La gestion des HABs passe par trois étapes. La première est l'observation et la surveillance de phytoplanctons toxiques et leurs toxines. En fonction des résultats de la surveillance, des mesures de gestion vont être déterminées dans une deuxième étape et une troisième étape visera leurs mises en œuvre (Figure 9).

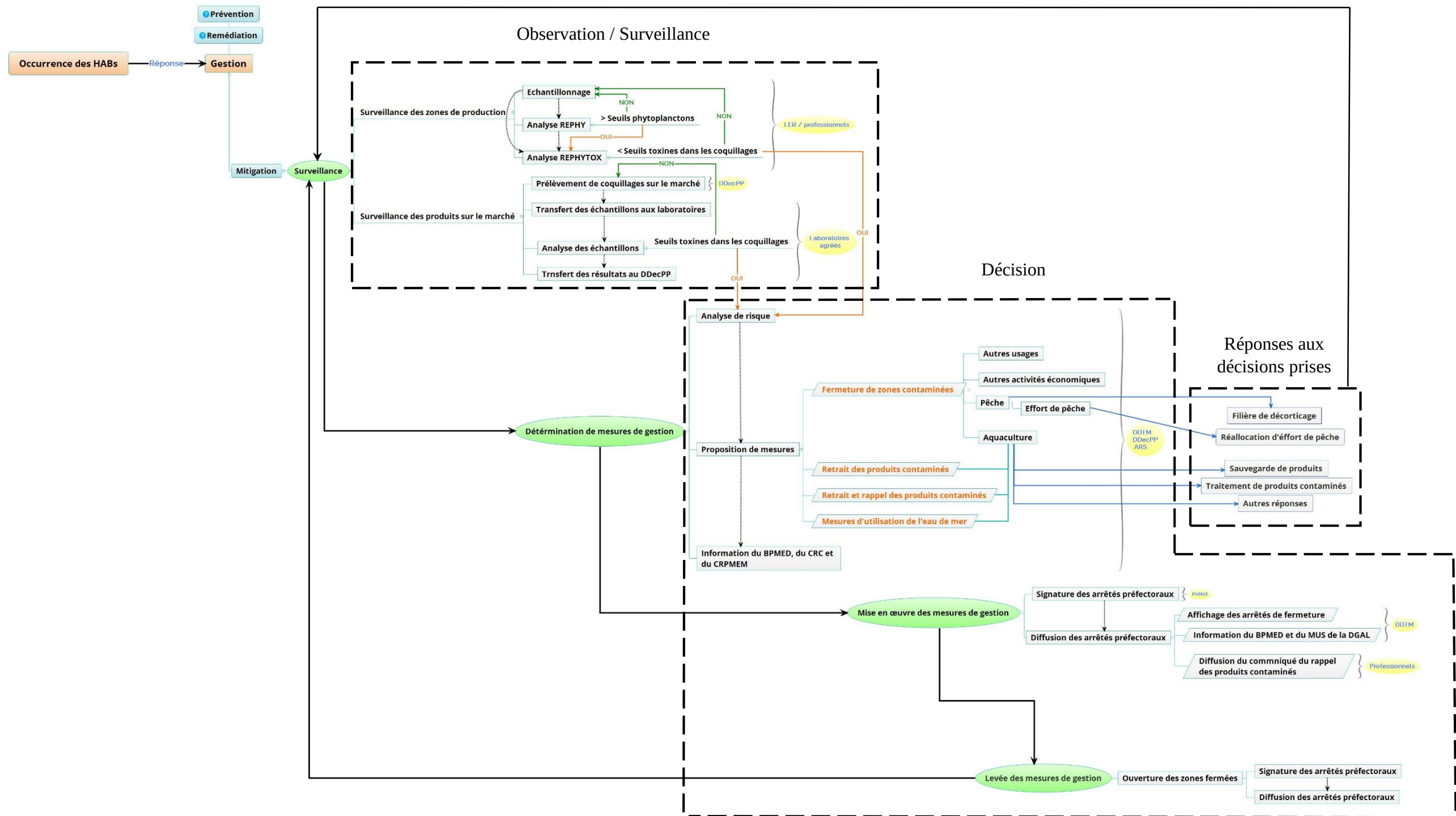
#### **3.1.2.1. La surveillance**

En France, le suivi des HABs est réalisé à travers le dispositif national de surveillance mis en œuvre par les réseaux de surveillance REPHY (phytoplancton et hydrologie) et REPHYTOX (phycotoxines), complété par un autre contrôle mis en place par le réseau des laboratoires agréés de la DGAL, à l'étape de la distribution des produits de la mer.

Les principaux événements suivis par ces dispositifs sont les efflorescences de phytoplanctons produisant les toxines réglementées, cependant, d'autres phytoplanctons ainsi que des paramètres physico-chimiques de l'eau sont également suivis.

Pour les réseaux REPHY et REPHYTOX, les stratégies de surveillance varient selon les phytoplanctons et les toxines recherchées ainsi que les lieux de surveillance et les moyens disponibles pour effectuer les prélèvements. Ces stratégies sont ainsi divisées en deux catégories.

- La première consiste à anticiper les risques de contamination de produits en utilisant les phytoplanctons toxiques comme indicateurs de toxicité de coquillage. Elle est donc basée sur l'observation régulière de phytoplanctons toxiques dans l'eau, qui déclenche par la suite la recherche de toxines dans les coquillages en cas de dépassement du seuil d'alerte. Cette stratégie est mise en œuvre dans le cas des zones côtières et moins profondes, et elle concerne le suivi des toxines ASP et PSP, car leur concentration est proportionnelle à l'abondance des phytoplanctons qui les produisent. C'est donc un indicateur fiable du degré de toxicité des coquillages.
- La deuxième stratégie n'est pas basée sur le contexte du phytoplancton. Elle consiste à la recherche systématique des toxines quel que soit la concentration de phytoplancton dans l'eau. Il s'agit du suivi des toxines lipophiles dans les zones à risque en période à risque, où l'hypothèse d'utilisation du phytoplancton comme indicateur d'alerte n'est pas vérifiée. En effet, les phytoplanctons produisant ces toxines (ex. *Dinophysis*) peuvent contaminer les coquillages même à des abondances très faibles, il y a donc un grand risque que les coquillages soient contaminés dès la première observation de ces phytoplanctons. Cette stratégie est également appliquée dans le cas du suivi des trois familles de toxines (lipophiles, ASP et PSP) dans les zones éloignées des côtes comme les gisements du large et les lieux à grande profondeurs qui ne sont pas toujours accessibles par les navires de prélèvement.



**Figure 9.** Carte conceptuelle du système HABs



Quelle que soit la stratégie utilisée, le protocole suivi est le même. L'observation du phytoplancton par le REPHY est la première étape, elle est réalisée à partir des prélèvements d'eau de mer et des comptages cellulaires au laboratoire, mais aussi à l'aide de la télédétection. Les prélèvements sont effectués une fois par semaine en périodes à risque, et une fois par quinzaine voire une fois par mois hors ces périodes. Dans le cas de dépassement des seuils d'alerte de phytoplancton, une recherche de toxines (ASP et PSP) dans les coquillages est déclenchée. Un échantillonnage de coquillage est donc effectué une fois par semaine par le réseau REPHYTOX. Pour les toxines lipophiles, l'échantillonnage de coquillages est fait systématiquement une fois par semaine, dans les zones et périodes à risque.

Pour les lieux de surveillance du large, où le prélèvement d'eau n'est pas effectué, l'échantillonnage de coquillages est réalisé par les professionnels (pêcheurs), un mois puis deux semaines avant et pendant la période de pêche, cette fréquence est réduite à une fois par semaine dès la détection de toxines dans les coquillages.

La procédure des stratégies de surveillance officielle REPHY-REPHYTOX est détaillée en annexe 11.

Les résultats issus des analyses en laboratoires sont publiés dans les bulletins de l'Ifremer et envoyés aux services de l'Etat et aux professionnels. Dans le cas de dépassement des seuils réglementaires de sécurité sanitaire, l'Ifremer doit informer l'administration départementale des affaires maritimes le plus vite possible.

### **3.1.2.2. La détermination de mesures de gestion**

Lors d'un épisode de contamination de coquillage, des mesures sont mises en place, selon le niveau de risque, par la direction départementale des territoires et de la mer (DDTM), la direction départementale en charge de la protection des populations (DDecPP) pour les activités professionnelles, et par l'agence régionale de santé (ARS) pour les activités de loisir. Ces mesures reposent sur une analyse de risque lié à la contamination par les phycotoxines.

Après détermination des mesures de gestion, elles vont être proposées au préfet qui représente l'autorité compétente en charge de leur application.

Il existe ainsi trois modalités de mesures de gestion en cas d'alerte de présence de phycotoxines :

#### **Les mesures appliquées aux zones de production (sites d'élevage et gisement de pêche)**

- Fermetures de zones de production : La confirmation de présence de phycotoxines dans les coquillages avec des teneurs supérieures aux seuils réglementaires de sécurité sanitaire conduit à fermer les zones de provenance de ces coquillages, les activités de pêche, d'élevage et de récolte de coquillages doivent être donc arrêtées le temps de la période de toxicité. Ces zones ne peuvent être réouvertes qu'après la confirmation de la fin de l'épisode toxique.

#### **Les mesures appliquées aux produits**

- Interdiction de la commercialisation : La vente et la mise sur le marché des produits provenant des zones fermées est interdite pendant toute la période de contamination.
- Retrait ou Retrait et rappel des produits : Les coquillages contaminés peuvent être ré-immersés et stockés dans des bassins durant toute la période de fermeture des zones de



production, après accord de la DDTM. Ces coquillages peuvent être commercialisés dès la confirmation de la fin de l'épisode toxique et la levée des mesures de fermeture.

La décision de retrait ou retrait plus rappel des produits est effectuée en fonction du niveau de contamination, et du degré de risque sanitaire. Tout produit susceptible d'être dangereux pour la santé humaine, est retiré du marché. Les produits jugés contaminés qui ont déjà quitté l'établissement d'expédition ne peuvent pas être ré-immergés et doivent être jetés.

### **Les mesures de gestion de l'eau de mer**

Durant l'épisode de toxicité, des restrictions en terme d'utilisation de l'eau de mer provenant des zones fermées sont mise en place, en fonction de l'usage qui en est fait. Par conséquent, le pompage de l'eau pour l'immersion des coquillages est interdit durant les périodes à risque, mais il est autorisé pour le lavage extérieur à condition que le lavage soit sans immersion.

#### **3.1.2.3. La mise en œuvre des mesures de gestion**

L'ensemble des mesures de gestion est mis en œuvre par le préfet au travers d'arrêtés préfectoraux. La DDTM est en charge de la diffusion des arrêtés concernant les mesures de gestion des zones (ex. fermetures), en les affichant au niveau des mairies, et la DDecPP est chargée de la mise en œuvre des mesures complémentaires concernant les mesures appliquées aux produits, la gestion de l'eau, etc. Ces décisions doivent être transmises au BPMED de la DGAL. En ce qui concerne les rappels des produits, ce sont les professionnels qui s'occupent de la diffusion des communiqués auprès des clients.

Les représentants des professionnels comme le comité régional de la conchyliculture (CRC), et le comité régional des pêches maritimes et des élevages marins (CRPMEM) doivent être également informés de ces décisions afin d'assurer la diffusion de l'information.

Concernant les toxines non réglementées, leur suivi est assuré par le dispositif de veille d'urgence des biotoxines marines (dispositif de vigilance), un dispositif géré au niveau national, différent du dispositif de surveillance de toxines réglementées.

### **3.2. Le sous-système Activités**

Le sous-système Activités représente la seconde composante du système HABs. Il regroupe l'ensemble des usages concernés ou impactés par les HABs, évoqués en chapitre I.

L'objectif principal des mesures de gestion mises en œuvre est la protection de la santé humaine. Par conséquent, chaque secteur concerné par ces décisions agit d'une manière différente pour diminuer ses pertes et assurer ses rendements (Figure 9).

La réallocation et le report de l'effort de pêche est une des principales réponses des pêcheurs pour éviter les pertes liées aux fermetures de zones de pêche. Ainsi, l'ouverture d'une filière d'éviscération et de décorticage de coquilles contaminées est considérée comme une autre solution. Cependant, ce dispositif ne concerne que les contaminations par ASP des coquilles Saint-Jacques. Il s'agit d'une filière de décorticage mise en place en 2004, autorisée dans les zones présentant un faible taux d'ASP ( $< 250$  mg/kg de chair) afin d'éliminer la glande digestive, le premier organe d'accumulation de toxines. La mise en œuvre de cette filière nécessite des contrats de commercialisation entre les pêcheurs et les industries de décorticage avec des modalités de traçabilité bien précises.

Pour le secteur de l'aquaculture, principalement la conchyliculture, la sauvegarde des produits contaminés est la réponse la plus répandue, il s'agit d'isoler les coquillages dans des bassins ou des zones non contaminées par les phycotoxines, jusqu'à leur détoxification. Il existe diverses techniques de détoxification, cependant, ces traitements sont confrontés à des enjeux liés à la réglementation et la maîtrise de la qualité sanitaire, la faisabilité des techniques, et des coûts associés. De plus, la durée du processus dépend du type de toxine, du niveau de toxicité, de l'espèce contaminée et des conditions de environnementales notamment la température de l'eau.

Enfin, les secteurs concernés par les mesures de gestion des HABs peuvent également tenter de diversifier leur activité afin d'atténuer les risques et d'assurer leurs revenus.

### **Résumé du chapitre II**

Le système HABs a été représenté au travers de trois composantes, permettant d'intégrer les différents aspects écologiques, économiques et sociaux, et de décrire les stratégies de gestion des HABs et les effets induits associés.

La stratégie de gestion des HABs adoptée en France est la surveillance. Elle est coordonnée par plusieurs institutions et mise en œuvre au travers des dispositifs de surveillance au niveau des zones de production et au stade de la distribution.

L'objectif de cette surveillance est la protection de la santé publique et la diminution des risques liés aux HABs. Cependant, elle présente plusieurs enjeux et contraintes.

En effet, en plus des coûts élevés que nécessite la mise en œuvre de cette stratégie (ex. prélèvement, analyses en laboratoires ...), elle est limitée par le temps et elle ne peut couvrir de grandes surfaces, elle concerne uniquement les zones de production.

Ainsi, les mesures mise en place comme les fermetures et les restrictions de commercialisation, peuvent impacter la rentabilité des activités, cela se traduit par de nombreuses réponses et types d'adaptation de la part des usagers. Cependant, en raison de la diversité de réponses liées au système de gestion mis en œuvre, il est difficile, dans cette étape, de conclure sur l'efficacité de ce système. Il est donc, nécessaire d'analyser chaque secteur d'activité avec ses propres réponses, en exploitant plus de données et d'informations.

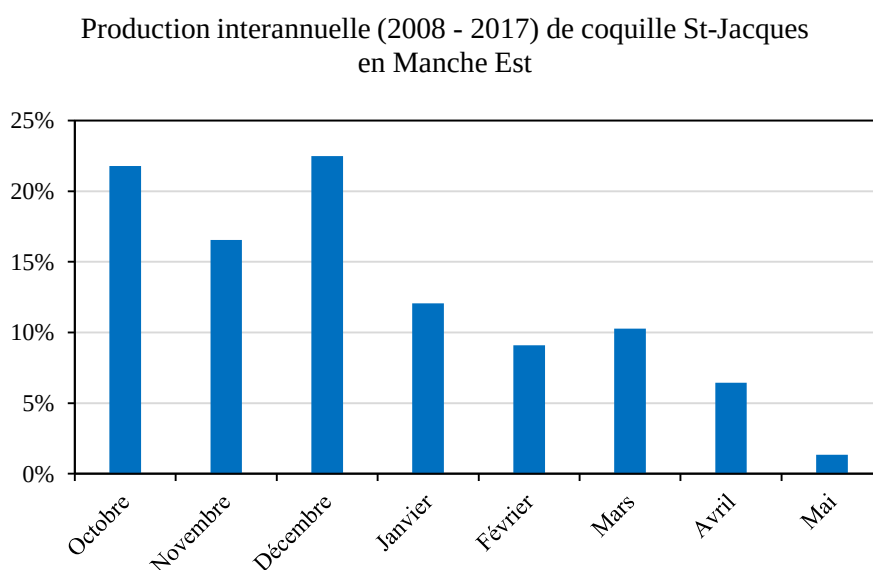
### Chapitre III : Analyse des impacts des HABs sur le sous-système pêche à la coquille Saint-Jacques en Manche Est

L'analyse des conséquences des HABs sur les activités économiques a été faite au travers d'une illustration sur le secteur de la pêche et plus particulièrement sur la pêcherie de coquilles Saint-Jacques en Manche Est en raison de l'importance de cette activité. La coquille Saint-Jacques est l'une des productions les plus touchées par les événements HABs (*Alexandrium*, *Dinophysis* et *Pseudo-nitzschia*). Il s'agit donc d'analyser les risques liés aux HABs qui pèsent sur la pêcherie et qui s'expriment en termes de fermetures des zones de pêche. En Manche Est, ce risque est associé aux occurrences de *Dinophysis* et *Pseudo-nitzschia*, et leurs toxines produites (toxines lipophiles et ASP). Outre son importance économique, le choix de la pêcherie de coquilles Saint-Jacques en Manche Est repose également sur l'intensité des phycotoxicités auxquelles elle a dû faire face depuis les années 90.

#### 1. La pêche professionnelle de la coquilles Saint-Jacques en Manche Est

La pêche à la coquille Saint-Jacques en Manche est une activité essentielle. En 2016, la Normandie était la première région française en terme de production avec 14 561 tonnes débarquées pour une valeur près de 50 millions d'euros, soit un prix moyen de 3,43 €/kg (Ifremer - SIH, 2017). La production est assurée par 222 navires qui pratiquent la drague à la coquilles, soit 41% de la totalité des navires de la Manche tout engin confondu (Ifremer - SIH, 2017).

La pêche à la coquille Saint-Jacques en France est strictement réglementée, afin de gérer au mieux et préserver cette ressource. Des restrictions sont donc mise en place fixant les périodes et les zones de pêche, la taille de capture autorisée, ainsi que des quotas par navire. La pêche est donc saisonnière, elle est pratiquée à la drague entre octobre et mai, d'une fréquence variant entre deux à quatre jours par semaine. Comme illustré dans la figure 10, les apports sont plus importants en début de saison, entre octobre et décembre.



**Figure 10.** Saisonnalité de la production annuelle (en %) de coquilles Saint-Jacques en Manche Est (source de données : Ifremer - SIH)

Les quotas de captures autorisées sont fixés en fonction de la taille des navires et du nombre de débarquements par semaine (Tableau 1).

**Tableau 1.** Quantités maximales autorisées de pêche de coquilles Saint-Jacques en Manche comme indiqué dans l'arrêté préfectoral n°86/2017 portant sur la réglementation de la pêche à la coquilles Saint-Jacques dans les secteurs « Baie de Seine » et « Hors-Baie de Seine », campagne 2017 - 2018.

| Nombre de débarquements hebdomadaires | Quantité maximale par débarquement dans la limite des conditions d'exploitation |                         |               |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|
|                                       | Navire < 15 m                                                                   | Navire entre 15 et 16 m | Navire > 16 m |
| 4                                     | 1 800 kg                                                                        | 2 000 kg                | 2 200 kg      |
| 3                                     | 2 400 kg                                                                        | 2 660 kg                | 2 930 kg      |
| 2                                     | 3 600 kg                                                                        | 4 000 kg                | 4 400 kg      |

## 2. Méthode d'analyse et données

L'objectif est de confronter la distribution spatiale des occurrences de HABs à l'activité de pêche également spatialisée. Les impacts des HABs seront déterminés par un nombre et des durées de fermetures de zones de production (fermeture à la pêche des zones contaminées) générant des variations de productivité pour les navires fréquentant ces zones. Pour ce faire, le nombre de fermetures administratives a été estimé, puis croisé avec la répartition spatiale de la productivité de zones de pêche de coquille Saint-Jacques.

### 2.1. Définitions

Une **fermeture administrative** d'une zone de pêche ou d'une zone de production aquacole donnée est définie par l'interdiction de l'accès à la zone et l'interdiction de commercialisation de mollusques bivalves issu de cette zone à la suite d'un résultat non conforme d'analyse de phycotoxines. Cela conformément au règlement (CE) N°854/2004.

**L'ouverture** de la zone fermée ne peut être faite qu'après la confirmation de la fin de l'épisode toxique. Cette confirmation repose sur les résultats de deux analyses successives d'un intervalle d'une semaine (ou 48 heures au minimum). Ces résultats doivent être inférieurs ou égaux au seuil réglementaire de toxicité des coquillages.

Une **zone de production** correspond à une délimitation spatiale des gisements de pêche de coquillages. Pour la coquille Saint-Jacques, le gisement Manche Est a été découpé en 17 zones de production. Ce zonage a été fait en 2012 par le LERN en se basant sur les résultats de l'évaluation des stocks de coquilles entre 2000 et 2012, effectuée lors des campagne CORMOR (*COquilles Manche Orientale*).

### 2.2. Description du jeu de données et méthode de traitement

Les données ayant servi à l'analyse des impacts liés aux occurrences des HABs sur la pêche de la coquille Saint-Jacques proviennent des données du réseau REPHYTOX et du Système d'Information Halieutique (SIH) de l'Ifremer. Les données halieutiques sont les captures de coquilles Saint-Jacques en volume et valeurs par carrés statistique (un carroyage de 3' de

latitude sur 3' de longitude) et par mois de 2008 à 2017 (10 années soit 120 mois). Ces données prennent ainsi la forme de 240 fichiers sous forme de *shapefile* traités par logiciel SIG (QGIS).

### **2.2.1. Calcul du nombre de fermetures et durée des fermetures**

Le premier traitement concerne le calcul du nombre de fermetures de zones de pêche (aussi appelées zones de production) à partir des données REPHYTOX (26 621 données) sur la période considérée). L'objectif est de traduire les concentrations en toxines dans les coquillages en fermetures administratives théoriques. Pour ce faire, la base de données a été interrogée et traitée à l'aide d'un script de commandes écrit et mis en œuvre sous le logiciel R (Annexe 12).

Les seules informations présentes dans le jeu de données REPHYTOX ne suffisent néanmoins pas pour estimer le nombre de fermetures et doivent être croisées avec les informations spatiales des zones de production pour éviter des doubles comptages. A l'aide d'une programmation sous QGIS, les données REPHYTOX ont ainsi été spatialisées et croisées avec les données de zones de production, pour joindre les noms de zones susceptibles d'être fermées au jeu de données REPHYTOX. L'algorithme développé et opéré sous R permet ensuite de calculer le nombre et la durée de fermetures pour chaque zone de production, par mois et par année.

La durée de fermetures a donc été calculée de la manière suivante : après un résultat supérieur au seuil réglementaire, la zone concernée sera fermée. En appliquant la réglementation, elle ne peut être réouverte qu'après avoir deux résultats successifs, i.e. séparés d'une semaine, inférieurs ou égaux au seuil réglementaire. Cependant, il existe d'autres règles, notamment celle basée sur les autocontrôles. Ces derniers sont effectués par les professionnels impactés (pêcheurs, aquaculteurs...) qui réalisent des prélèvements de coquillages afin de les faire analyser par des laboratoires privés agréés. Dans ce cas la réouverture est autorisée après deux résultats conformes séparés de 48H au lieu d'une semaine. A contrario, si le résultat de l'autocontrôle est non conforme alors il prolongera d'autant la fermeture car deux résultats conformes consécutifs seront à nouveau requis suite à cet autocontrôle. Cette règle n'a pas été prise en compte dans l'algorithme, par manque de données et d'informations sur les autocontrôles ainsi que le temps requis pour pouvoir les identifier, les valider et les intégrer dans la base de données. De plus, par mesure de précaution, les autorités peuvent aussi interdire la pêche même si les résultats ne dépassent pas les seuils réglementaires. C'est généralement le cas lors de la présence de toxines lipophiles dans les moules.

Par conséquent, la durée des fermetures estimée à partir de l'algorithme peut être biaisée. Elle est ainsi de deux semaines au minimum, ce qui n'est pas nécessairement le cas pour les réouvertures basées sur les résultats des autocontrôles, ou sur d'autres règles de décision (approches de précaution). Cette étude souligne donc la nécessité d'intégrer toutes les règles de décision dans le modèle, et donc l'utilité de l'approche système, afin d'améliorer l'estimation des risques liés aux HABs.

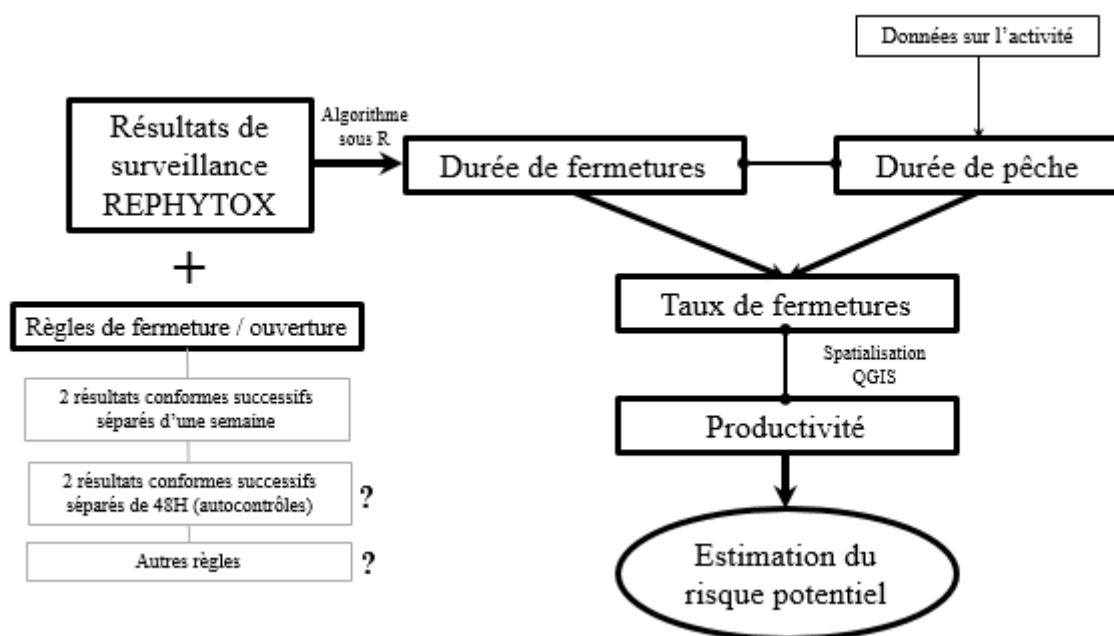
Le nombre moyen mensuel de fermetures ainsi que leur durée moyenne mensuelle ont donc été calculés pour chaque zone de production sur la période 1988 – 2017, afin de caractériser les périodes les plus impactées par les fermetures. Etant donnée la saisonnalité de la pêche à la coquille Saint-Jacques, les durées moyennes annuelles calculées ne correspondent qu'aux périodes d'autorisation de pêche (d'octobre à mai). Le nombre de zones fermées a été également calculé afin d'étudier la répartition et l'évolution des fermetures sur la période 2008 – 2017.

Cependant, les données halieutiques n'étant disponibles de façon spatialisée qu'à partir de 2008 ces indicateurs sont rapportés sur la même période à des fins de comparaison.

### 2.2.2. Construction du protocole d'analyse spatiale

La comparaison entre occurrences de HABs et activités de pêche à la coquille en Manche Est est conduite sur la base d'une analyse spatiale des impacts des fermetures sur la pêcherie étudiée au regard des productivités. A l'aide de QGIS, la productivité moyenne annuelle (en quantité) des zones de production a été calculée pour chaque mois. Ensuite, ces résultats ont été couplés avec les résultats de fermetures de zones de pêche.

Le protocole d'analyse pour estimer les risques potentiels liés aux HABs peut alors être illustré par la Figure 11. Ce protocole appliqué à la pêcherie de coquille Saint-Jacques peut dès lors s'appliquer à d'autres pêcheries, d'autres espaces, mais aussi d'autres secteurs d'activité (aquaculture, activités récréatives pour nourrir des évaluations économiques de type coût de transport, tourisme).



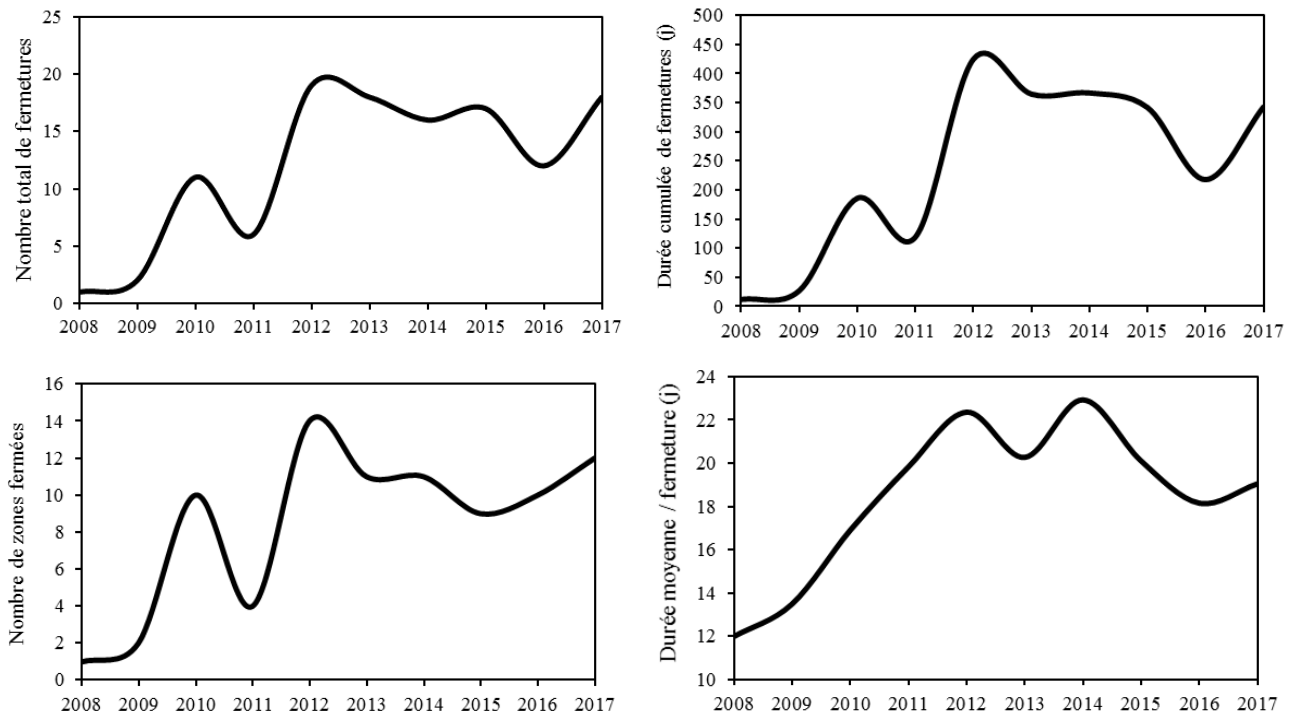
**Figure 11.** Protocole proposé pour analyser le risque potentiel des HABs sur la pêche

## 3. Analyse de l'exposition de la pêcherie de coquille Saint-Jacques au risque des HABs

### 3.1. Evolution des fermetures sur les zones de pêche

L'analyse des occurrences des HABs au chapitre I a souligné une tendance à la diminution de ces occurrences sur l'espace Manche. Cependant la durée de ces épisodes apparaît comme plus longue et souligne une intensification des événements. La structure des événements HABs a également changé, avec le passage marqué d'une situation dominée par les épisodes DSP à une situation dominée par les épisodes ASP. Ces derniers sont plus problématiques pour la coquille Saint-Jacques au égard à la durée de toxicité pour cette espèce, ce qui serait moins problématique pour les moules par exemple qui présentent une durée de détoxification plus faible. Cette évolution laisse donc présager d'un impact significatif en termes de fermetures sur les zones d'exploitation des gisements de coquilles Saint-Jacques.

Sur la saison de la pêche à la coquille, du mois d'octobre au mois de mai, et sur la période étudiée (2008 à 2017), les résultats de l'étude des occurrences de HABs sur l'espace Manche Est montrent une nette tendance à l'augmentation du nombre et de la durée des fermetures. La durée unitaire moyenne des fermetures a également eu tendance à croître ainsi que le nombre de zones impactées. (Figure 12). Ces résultats sont conformes à ceux relevés dans la littérature, en ce qui concerne l'évolution des HABs en terme d'intensité et de répartition spatiale.



**Figure 12.** Evolution du nombre total de fermetures, de la durée totale des fermetures, de la durée moyenne des fermetures et du nombre de zones de productions fermées sur la période 2008 à 2017<sup>2</sup>

Cette tendance à la hausse souligne donc un risque croissant pour les flottilles de coquilliers fréquentant les zones de production de l'espace Manche Est. L'activité coquillière étant réglementée tant dans l'espace, dans le temps qu'en quantité, il est donc nécessaire de descendre aux échelles des zones de production et des périodes de pêche pour appréhender les risques, l'exposition à ces risques et donc les impacts sur la flottille normande de pêche à la coquille Saint-Jacques.

### **3.2. Impacts des événements HABs sur la pêcherie de coquille Saint-Jacques en Manche Est**

La détermination des impacts liés aux HABs nécessiterait la définition d'un état de référence des productivités par zones hors effet HABs. Cependant, sur la base des données mensuelles il n'est pas possible de déterminer cet état de référence. L'accès aux données de production journalières permettrait de comparer le nombre de marées aux calendriers d'accès des gisements coquilliers de la zone et d'obtenir le nombre de marées hors épisodes HABs. Par contrainte d'indisponibilité des données journalières spatialisées des quantités débarquées, il

<sup>2</sup> Les années 2008 et 2009 sont sujettes à caution du fait du changement de réglementation portant sur le passage du test souris au test chimique.



n'était donc pas possible d'obtenir directement le nombre de jours d'activité, ou marées, hors événements HABs par zone de pêche. Un taux de perte de jours d'accès aux zones de production a donc été calculé pour chaque zone de production sur la base d'un taux de fermeture mensuel moyen interannuel.

Pour l'étude des impacts directs des HABs sur la pêcherie de coquille Saint-Jacques, la production moyenne interannuelle mensuelle et la durée moyenne interannuelle des fermetures ont été utilisées comme indicateurs d'impact. Pour chaque zone et chaque mois de la saison de pêche, un taux de fermeture mensuel a été estimé sur la base de la durée moyenne interannuelle de fermeture rapportée à la durée du mois en question (nombre de jours du mois). Appliqué au calendrier des jours d'accès autorisés aux zones de production (3 jours par semaine), ce taux détermine une perte en termes de jours d'accès à la zone. Par manque d'information sur l'ensemble des calendriers de jours d'accès par zone et par période, il a été décidé d'utiliser le dernier calendrier 2018 sur les zones de la Baie de Seine (zones **1, 2, 3, 4** et **5**). Il sera à tout moment possible d'ajuster les paramètres de calcul pour tenir compte d'une éventuelle diversité de calendriers selon les zones et périodes ou de simuler l'impact d'une modification ou d'une optimisation de calendrier face aux risques de HABs.

La définition et application de ce taux de perte moyen interannuel permet de définir un atlas d'exposition aux risques des HABs pour la pêcherie de coquilles Saint-Jacques en Manche Est sur la base des fermetures observées entre 2008 et 2017 (Figure 13).

La figure 13 montre que sur la période entre 2008 et 2017, le début de la saison de pêche est plus exposé au risque des fermetures des zones de production, en termes de nombre de zones fermées et de taux de perte moyen.

L'impact est évalué en termes de pertes de jours d'accès et non en productivité. La fermeture n'implique en effet pas toujours une perte de production (sauf lorsque la fermeture est déclarée au cours d'une marée) car l'effort de pêche est reporté sur des zones non touchées par des fermetures. L'accès à des données de production journalières permettrait d'avoir une vision plus fine sur l'effet direct des fermetures et notamment d'évaluer les dynamiques de report d'effort sur les autres zones de pêche non fermées et les stratégies d'adaptation. De même, au-delà des productivités moyennes, le nombre de navires de pêche opérant sur les zones de production permettrait d'analyser les stratégies individuelles de pêche face aux événements HABs lorsqu'ils se déclarent.

### Chapitre III. Analyse des impacts des HABs sur le sous-système pêche à la coquille Saint-Jacques en Manche

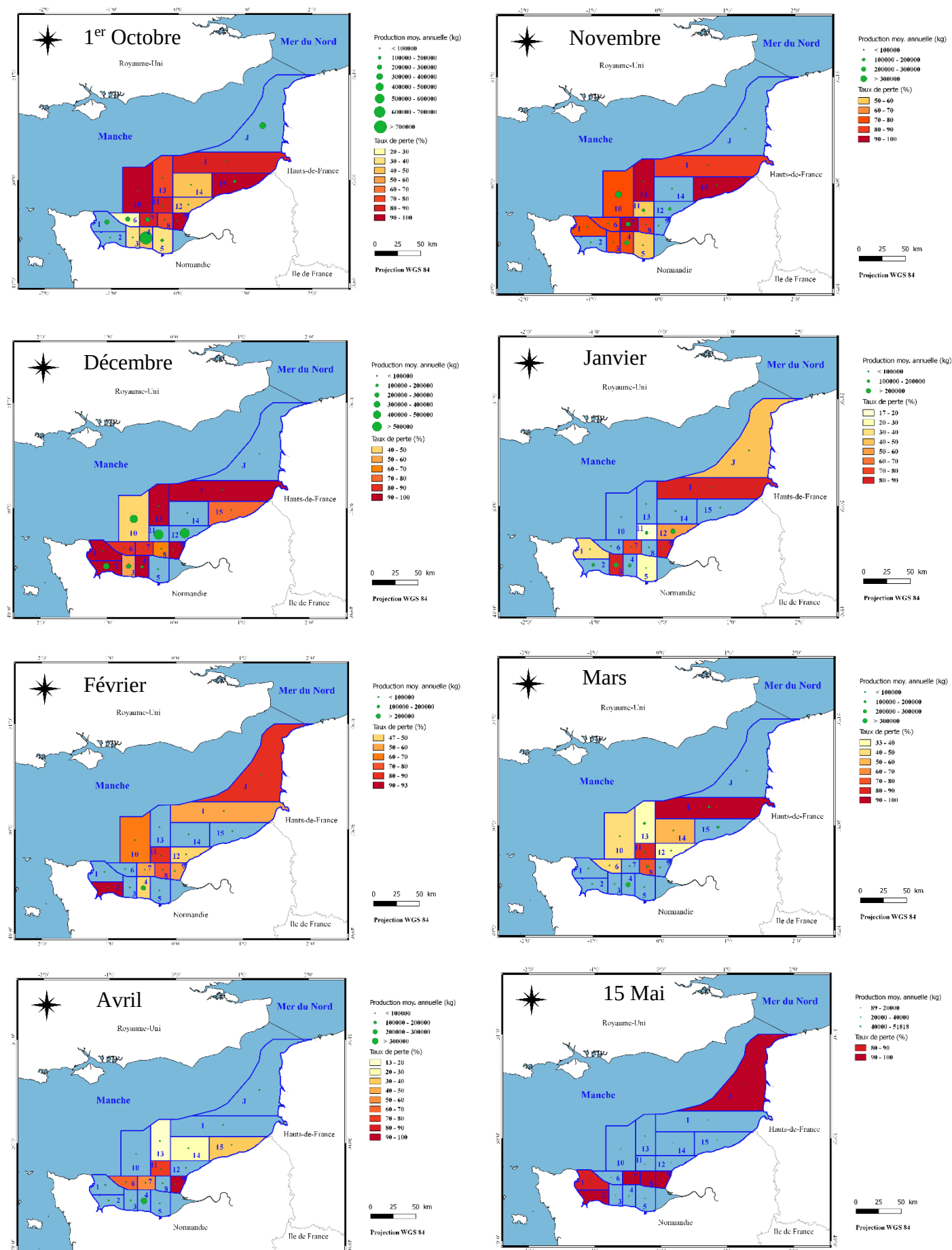
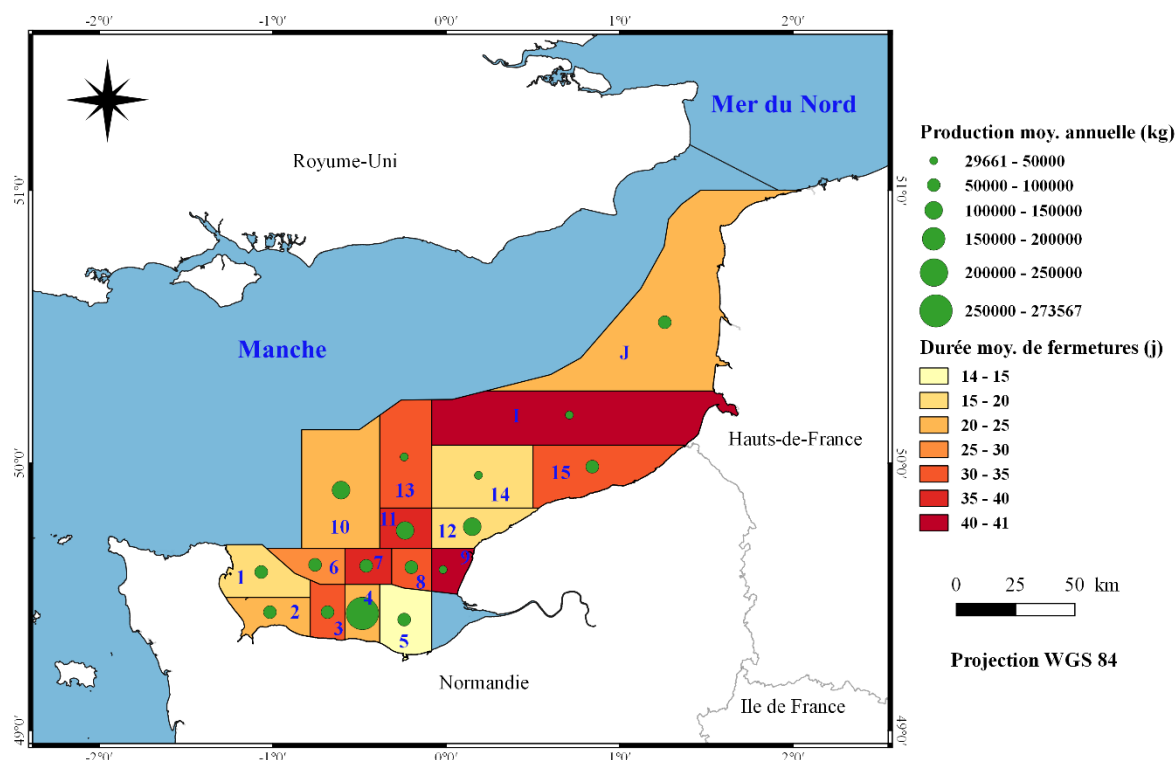


Figure 13. Taux moyen de perte de jours d'accès aux zones de pêche par mois

Une autre représentation de l'exposition de la pêcherie de coquille Saint-Jacques aux risques d'occurrences de HABs peut également se faire à l'échelle de la période de pêche en confrontant durée moyenne de fermeture par zone et productivité par zone (figure 14).



**Figure 14.** Durée de fermetures et production moyenne annuelle des gisements Manche Est de coquilles St-Jacques (2008 – 2017)

Les résultats montrent que le secteur « Baie de Seine », secteur de première importance pour la pêcherie, représenté par les zones **1, 2, 3, 4** et **5** est moins impacté par des fermetures de longue durée (entre 14 et 23 jours en moyenne). Cependant, la zone **3** présente des caractéristiques particulières aux regard des autres zones. Elle présente ainsi une durée de fermeture plus importante par rapport aux autres zones de ce secteur, soit une durée moyenne annuelle de 30 jours de fermeture. En terme de production annuelle, ce secteur est le plus important en raison des apports du gisement de la zone **4**, qui représente à elle seule une production de plus de 250 tonnes par an en moyenne.

Le secteur « Hors baie de Seine » regroupant les zones **6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, I** et **J**, semble le plus impacté par les fermetures, essentiellement la zone **9** et **I**. Ces zones sont généralement soumises à des fermetures variant entre 17 et 41 jours en moyenne. En termes de quantités moyennes débarquée, ces gisements sont moins productifs comparé à ceux de la « Baie de Seine », les productions moyennes varient entre 29 et 150 tonnes. Cela pourrai être expliqué par les longues durées d'interdiction de pêche, ce qui fait que ces zones sont moins fréquentées.

A partir des résultats obtenus, il apparait donc que les décisions des gestionnaires et les allocations de l'effort de pêche dans les gisements sont contrôlées par la dynamique des HABs. En effet, les zones présentant un grand nombre et/ou une longue durée de fermetures sont moins

fréquentées par les navires de pêche, ce qui implique une pression sur les autres zones jugées moins soumises aux décisions de fermetures.

### **3.3. Conséquences des impacts dans le système HABs et mécanisme d'observation**

Comme cela a été évoqué tout au long de ce travail, le secteur de la pêche est une des activités affectées par les HABs et de ce fait elle est intégrée dans la représentation du « système HABs ». Des changements au sein de ce système peuvent donc avoir des conséquences sur la dynamique du secteur de la pêche et inversement, en fonction des besoins du secteur, via des boucles de rétroaction. Cette section explore ainsi les principaux vecteurs d'interaction qui pourraient avoir des conséquences sur la manière dont les HABs sont gérés et cela dans un objectif d'amélioration de cette gestion. Cette analyse est limitée du fait qu'on ne considère que le secteur de la pêche et que les autres acteurs du système ne sont ici pas pris en compte. Mais le même type d'analyse pourrait être conduit pour les autres secteurs d'activité impactés par les HABs. Ce travail d'analyse holistique sera ainsi mis en œuvre dans des étapes ultérieures au sein du projet EUROHAB.

Le premier des changements pouvant impacter le sous-système pêche est celui des **mécanismes d'observation et de surveillance**. Les dispositifs d'observation qui supportent les décisions sont aujourd'hui réglementairement contraints par une mécanique analytique qui se traduit par des fermetures lorsque qu'une analyse des phycotoxines n'est pas conforme au seuil réglementaire. La réouverture ne peut dès lors intervenir que lorsque deux analyses consécutives sont conformes. Cette mécanique est cadencée par des analyses hebdomadaires qui peuvent seulement être interrompues par un autocontrôle. Au-delà de cette considération, cela veut dire que dans beaucoup de cas, la durée incompressible d'une fermeture est d'une semaine. Si l'on considère le débarquement maximum autorisé pour un bateau de la tranche de taille moyenne (15-16 mètres) qui est de 2660 kg de coquilles Saint-Jacques et qui débarque avec une fréquence moyenne de 3 débarquements hebdomadaires, un simple calcul moyen estimerait que l'impact potentiel subit par la pêcherie dans une semaine de travail de 5 jours de fermeture pourrait être d'environ 500 tonnes de coquilles. Bien évidemment l'ensemble de la zone Manche n'est pas affecté par les HABs en même temps. Cependant, le raccourcissement potentiel des fermetures avec l'utilisation de méthodes de télédétection et d'un système d'alerte en ligne pourrait avoir des conséquences directes à court terme sur les revenus des pêcheurs. En revanche, ce raccourcissement entraîne d'autres questions induites par la dynamique du système HAB et qui concerne la durabilité de la pêcherie. Ainsi, les fermetures peuvent être aussi considérées comme un régulateur qui limite l'effort de pêche et qui à plus long terme pourraient produire des effets bénéfiques si elles ne sont pas excessives et si elles n'induisent pas des mortalités ou des retards de croissance sur la biomasse. En d'autres termes, à l'extrême, une suppression complète des fermetures conduirait à une augmentation de l'effort de pêche qui devrait alors être intégrer dans des mesures de gestion de la pêche additionnelles (réduction des temps d'accès, diminution des quotas, fermetures administratives...). Cependant, entre les deux cas extrêmes de fermeture incompressible hebdomadaire et d'une fermeture réduite au maximum, il peut y avoir une production d'information des réseaux d'observation qui pourrait être plus adaptée pour la pêcherie. De ce fait, l'information en temps réelle d'un système performant de télédétection qui permettrait de réouvrir une zone de pêche au moment précis de la décontamination, pourrait sans doute s'avérer opérationnel du point de vue de la gestion des HABs, mais pas nécessairement bénéfique pour la durabilité de la pêcherie de coquilles Saint-Jacques.

La question de la fréquence de l'information fournie par l'observation est importante car elle doit dès lors être adaptée aux besoins des acteurs, des activités et des contraintes de durabilité. Cependant, ce questionnement doit se faire à l'échelle de l'ensemble des acteurs et activités qui sont parties prenantes du système HABs. Les besoins en fréquence d'information peuvent ainsi s'avérer différents selon les activités et cela nécessite donc une concertation et un arbitrage pour le bénéfice de tous.

Le second changement au sein du système HABs pouvant impacter le sous-système pêche est celui des **effets de l'information produite par les réseaux d'information sur les stratégies des pêcheurs**.

L'information des réseaux d'observation permet de gérer les ouvertures des zones de pêche à une échelle considérée comme suffisante pour réduire les risques de production de coquilles contaminées. Il y a cependant des zones de production proches ou contiguës qui ont des risques de fermeture différents (exemple des zones 3, 4 et 5 de la figure 13). La réallocation spatiale de l'effort pourrait être une des mesures pour pallier les effets des fermetures à très court terme. Mais cela peut également entraîner des effets en cascade sur les coquilliers, voire d'autres pêcheries, qui occupent déjà ces zones.

Des outils d'analyse des impacts spatiaux comme celui construit dans le cadre de ce travail permettraient de mieux évaluer ces effets potentiels entre zones de pêche. L'utilisation d'outils d'observation à une échelle spatiale beaucoup plus fine pourrait également se traduire par une modification du zonage et par conséquent des impacts associés aux fermetures. Ces effets de report posent la question des processus de concertation au sein de la pêcherie pour éviter les déséquilibres qui pourraient survenir d'un basculement excessif d'effort de pêche sur une zone en particulier. Si les fermetures par HABs venaient à s'intensifier dans les années à venir, elles pourraient entraîner des conséquences économiques qui dans le pire des cas pourraient questionner la rentabilité économique de la pêcherie dans certaines zones. De ce fait, la prise en compte des dimensions spatiales devient importante pour mieux analyser les réponses éventuelles en termes de gestion.

## Discussion et conclusion

Ce travail a porté sur la caractérisation des impacts des efflorescences algales nuisibles (HABs) en Manche par une approche systémique. Il a ainsi permis de représenter une vision holistique et partagée de la problématique des HABs en Manche en construisant le système HABs : sa dynamique, ses impacts et sa gestion. L'objectif était de (1) mettre en évidence les impacts liés aux HABs, (2) analyser les systèmes et stratégies actuelles de surveillance et de gestion et les réponses associées afin de (3) caractériser les risques et les impacts économiques associés aux HABs en mobilisant les données disponibles des réseaux d'observation de la qualité de l'eau et du suivi des activités économiques. Un focus a été effectué sur la pêche de la coquille Saint-Jacques en Manche Est.

Les écosystèmes marins et littoraux des côtes de la Manche sont le support d'un nombre important d'activités économiques liées au secteur de la pêche, de la conchyliculture, du tourisme et des activités récréatives. Au regard de l'analyse des distributions spatiales et saisonnières des efflorescences nuisibles, ces activités sont sous la menace significative de ces efflorescences qui apparaissent comme importantes et en développement sur les dernières décennies.

Ces occurrences peuvent avoir des impacts divers, à court et à long terme. La caractérisation des impacts liés aux HABs a montré qu'en plus des conséquences directes sur l'environnement et les populations aquatiques, les HABs présentent un réel risque sur la santé humaine et les activités liées aux zones côtières et marines, en raison des phycotoxines accumulées notamment par les mollusques bivalves qui deviennent alors impropres à la consommation. Les interdictions d'accès aux zones touchées par ces efflorescences génèrent une chaîne d'impacts sur les activités liées à ces zones, et des coûts liés à la gestion et la surveillance de ces événements. L'analyse de ces impacts a montré que le niveau de risque dépend de plusieurs facteurs : l'espèce responsable des HABs, la nature de la toxine et la durée de toxicité, la période d'occurrence, l'importance de la zone de production et des espèces touchées et les stratégies d'adaptation et de réponse des acteurs.

Pour analyser ces risques et leur degré d'impact, une analyse des occurrences de HABs et des épisodes de toxicité a d'abord été réalisée. Les résultats ont montré que la fréquence d'apparition des HABs en Manche, notamment *Pseudo-nitzschia* et *Dinophysis*, est en augmentation, et que le nombre de zones touchées a également évolué. Cela a impliqué un grand nombre d'analyses de toxines réalisées dans le cadre de la surveillance de ces phénomènes. Mais par ailleurs, elle a aussi montré que le nombre d'alertes de phytoplanctons présente une tendance à la diminution à partir de 2003. Ces résultats sont conformes à ceux relevés dans la littérature et dénotent des alertes moins nombreuses mais des épisodes avérés plus intenses. Ainsi la caractérisation des épisodes de toxicité par l'étude des données historiques des analyses de phycotoxines a mis en évidence que l'évolution des résultats non conformes d'analyses présentent des fluctuations de grande amplitude avec une diminution à partir de 2012. En terme de composition de HABs, une dominance des espèces de *Pseudo-nitzschia* a été remarquée à partir de 2004 représentant un risque plus important pour la pêche à la coquille Saint-Jacques. Celle-ci est en effet l'espèce la plus problématique concernant les toxicités par les ASP, en raison d'une durée de décontamination plus longue.

Le travail conduit a montré et souligné la complexité du système HABs et sa dynamique spatio-temporelle et justifie la nécessité d'une analyse holistique de cet événement au travers d'une approche système. Le système HABs a été donc défini à l'aide d'une approche DPSIR soulignant les relations causes effets au sein du système. Ce système HABs a été structuré par



trois sous-système élémentaires : l'Ecologie, la Gestion et les Activités. Ces deux dernières composantes ont constitué le cœur de ce travail.

La gestion des HABs en France s'appuie sur un système de surveillance et d'alerte coordonné par plusieurs institutions, et appliqué aux travers de deux dispositifs complémentaires. Le premier est piloté et mis en œuvre par l'Ifremer à partir de ses réseaux de surveillance REPHY et REPHYTOX qui assurent le suivi des HABs dans les zones de production. Le second, mis en œuvre par la DGAL, permet de renforcer cette surveillance par un contrôle des phycotoxines dans les coquillages au stade de la mise sur le marché. Ces stratégies de surveillance sont dédiées principalement à la protection de la santé humaine et la diminution des risques liés aux HABs. Elles conduisent ainsi à des restrictions d'accès aux zones jugées contaminées par les HABs avec des interdictions de commercialisation des coquillages provenant de ces zones. Ces décisions, basées sur l'observation des HABs, donnent lieu à un éventail de réponses et de stratégies de la part des professionnels impactés afin d'assurer la rentabilité et la pérennité de leurs activités.

L'analyse de ces réponses a été illustrée sur la pêche à la coquilles Saint-Jacques en Manche Est. Cette analyse a été réalisée par la construction et la mise en œuvre d'un protocole permettant d'estimer les risques potentiels des HABs sur la production de coquille Saint-Jacques. Cette démarche a permis de mettre en évidence des premiers éléments en termes de réponses et d'adaptations aux fermetures de zones de production. Les résultats ont montré par ailleurs que le nombre de zones fermées ainsi que la durée des fermetures sont en augmentation, ce qui reflète l'émergence de *Pseudo-nitzschia* et l'accumulation des ASP dans les coquilles Saint-Jacques.

La confrontation des productions de coquilles Saint-Jacques aux résultats de fermetures a mis en évidence que le secteur « Baie de Seine » qui représente le gisement le plus productif, est moins exposé aux risques de fermetures liées aux HABs, contrairement au secteur « Hors baie de Seine », qui regroupe les gisements les plus touchés par les fermetures. Cela induit une pression de pêche plus importante pour le secteur « Baie de Seine » que pour les autres gisements. Une analyse de la distribution spatiale des flottilles pourrait permettre d'affiner ce constat. Le report de l'effort de pêche peut être donc une stratégie pour diminuer les effets des fermetures de zones mais il peut aussi présenter des risques de surexploitation sur les gisements non fermés. Les HABs peuvent ainsi avoir un rôle de régulateur naturel d'une pêcherie soumise à de fortes fréquences de fermetures. Ces hypothèses nécessiteraient d'être testées et confirmées par l'intégration et le couplage au sein du système HAB d'un modèle de dynamique des populations, voire d'un modèle bioéconomique lié aux comptes d'exploitation des navires mais aussi à la polyvalence des navires, autre facteur d'atténuation des impacts. Cela permettrait d'estimer plus finement la dynamique des impacts économiques.

L'analyse spatiale de la distribution des événements HABs et des productions de coquilles Saint-Jacques a permis de caractériser les risques auxquels est exposée la flottille coquillière en Manche Est, par l'estimation d'un taux de perte de jours d'accès aux zones de production. Cette analyse a également permis de souligner les dynamiques induites par les HABs et leurs évolutions spatio-temporelles. Elle établit ainsi les liens entre les occurrences des HABs, les systèmes d'observation et les différentes stratégies d'adaptation. Les impacts des HABs sur les activités dépendent donc de ces trois facteurs.

Les décisions des gestionnaires, exprimées par les fermetures, sont modulées par la dynamique des occurrences des HABs. Ces décisions peuvent être traduites par différentes stratégies d'adaptation de la part des professionnels, qui essaient à leur tour d'atténuer les impacts subis. Par conséquent, l'estimation des risques liés aux HABs doit prendre en compte ces stratégies d'adaptation et pas seulement les impacts directs.



Les systèmes d'observation actuels sur lesquels reposent les décisions de fermetures présentent plusieurs enjeux et contraintes, notamment en raison de leurs coûts élevés et de leurs limites spatio-temporelles. Ces systèmes peuvent être améliorés par l'intégration d'outils novateurs permettant de répondre aux besoins des professionnels et aux exigences que requiert le suivi de phénomènes comme les HABs. La mise en place d'un système d'alerte en ligne sur la base d'images satellitaires et les développements technologiques de la télédétection (satellite Sentinel 3) pourrait améliorer le système de surveillance actuel en termes de couverture spatiale et avec une réduction des délais des analyses de la qualité de l'eau. Cela entraînerait également une réduction des coûts de la gestion des HABs. Cependant, cet outil doit être adapté à la gestion et pas seulement aux occurrences des HABs. Un système d'alerte en ligne efficace devrait donc s'adapter aux besoins de l'ensemble des acteurs concernés et non pas seulement d'un secteur économique, c'est en cela que l'analyse holistique devient pertinente.

Enfin ce travail est une première analyse des risques liés aux HABs, présentant des résultats très préliminaires sur le potentiel de ces risques en Manche, et sur les comportements des professionnels face aux décisions de fermetures. Mais il est nécessaire de poursuivre ce travail et d'enrichir l'analyse afin de l'appliquer à d'autres pêcheries, d'autres espèces et d'autres secteurs d'activités. Le protocole d'analyse développé peut ainsi être aisément reparamétré ou corrigé pour être répliqué à d'autres pêcheries, espaces ou activités. Il pourrait dès lors servir de support à la délibération en vue de la construction de scénarios de gestion, d'adaptation et d'évaluation de la mise en œuvre d'un système d'alerte en ligne.

Au terme de ce travail, quelques perspectives et recommandations peuvent donc être proposées :

- Intégrer l'ensemble des espèces touchées par la contamination par les phycotoxines.
- Intégrer les *zones de fermetures* à la base de données REPHY et REPHYTOX.
- Comparer les fermetures théoriques estimées par l'algorithme aux fermetures officielles (étalonnage sur la base de PVs de fermetures).
- Intégrer l'ensemble des critères utilisés pour la décision de fermeture (les autocontrôles notamment) au modèle.
- Utiliser les données journalières de production plutôt que les données mensuelles afin de mieux estimer le nombre de jours perdus à cause des fermetures de zones de production.
- Etalonner et répliquer le protocole d'analyse à d'autres secteurs et espaces d'activités.

## Bibliographie

**ANDERSON, Donald M. (2009).** Approaches to monitoring, control and management of harmful algal blooms (HABs). In : *Ocean & Coastal Management*. Vol. 52, n° 7, p. 342-347. Disponible à l'adresse : <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Consulté le 7 mars 2018.

**ANDERSON, Donald M., GLIBERT, Patricia M. et BURKHOLDER, Joann M. (2002).** Harmful algal blooms and eutrophication : Nutrient sources, composition, and consequences. In : *Estuaries*. Vol. 25, n° 4, p. 704-726. Disponible à l'adresse : <[www.link.springer.com](http://www.link.springer.com)>. Consulté le 13 mars 2018.

**BABIN, Marcel, CULLEN, John J., ROESLER, Collin S., DONAGHAY, Percy L., DOUCETTE, Gregory J., KAHRU, Mati., LEWIS, Marlon R., SCHOLIN, Christopher A., SIERAKI, Michael E., SOSIK, Heidi M. (2005).** New Approaches and technologies for observing Harmful Algal Blooms. In : *Oceanography*. Vol. 18, n° 2, p. 18. Disponible à l'adresse : <[www.whoi.edu](http://www.whoi.edu)>. Consulté le : 12 avril 2018.

**BELIN, C., CLAISSE, D., DANIEL, A., FLEURY, E., MIOSSEC, L., PIQUET, J. C., ROPERT, M., BOISSEAU, A., LAMOUREUX, A., SOUDANT, D. (2013).** Qualité du Milieu Marin Littoral Synthèse Nationale de la Surveillance 2013. Ifremer report. Disponible à l'adresse : <[www.envlit.ifremer.fr](http://www.envlit.ifremer.fr)>. Consulté le 07 mars 2018.

**BERDALET, Elisa, FLEMING, Lora E., GOWEN, Richard, DAVIDSON, Keith, HESS, Philipp, BACKER, Lorraine C., MOORE, Stephanie K., HOAGLAND, Porter, ENEVOLDSEN, Henrik. (2016).** Marine harmful algal blooms, human health and wellbeing: challenges and opportunities in the 21st century. In : *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. Vol. 96, n° 01, p. 61-91. Disponible à l'adresse : <[www.journals.cambridge.org](http://www.journals.cambridge.org)>. Consulté le 11 mars 2018.

**CARPENTIER, A., MARTIN, CS et VAZ, S (Eds.). (2009).** Channel Habitat Atlas for marine Resource Management, final report / Atlas des habitats des ressources marines de la Manche orientale, rapport final (CHARM phase II). INTERREG 3a Programme, Ifremer. Disponible à l'adresse : <[www.archimer.ifremer.fr](http://www.archimer.ifremer.fr)>. Consulté le : 16 mars 2018.

**CRENN, Klervi. (2016).** Interactions entre microalgues et bactéries dans l'environnement marin. *Thèse de doctorat* : Université Pierre et Marie Curie - Paris VI. 303 p. Disponible à l'adresse : <[www.tel.archives-ouvertes.fr](http://www.tel.archives-ouvertes.fr)>. Consulté le : 14 mai 2018.

**DAUTA, A. (1982).** Conditions de développement du phytoplancton. Etude comparative du comportement de huit espèces en culture. I. Détermination des paramètres de croissance en fonction de la lumière et de la température. In : *Annales de Limnologie*. 1982. Vol. 18, n° 3, p. 217-262. Disponible à l'adresse : <[www.limnology-journal.org](http://www.limnology-journal.org)>. Consulté le 5 mars 2018.

**DAVIDSON, Keith, TETT, Paul et GOWEN, Richard. (2011).** Harmful Algal Blooms. HESTER, R E et HARRISON, R M (éd.), *Issues in Environmental Science and Technology*. Cambridge. Chapitre 3. In : *Royal Society of Chemistry*. p. 95-127. Disponible à l'adresse : <[pubs.ebook.rsc.org](http://pubs.ebook.rsc.org)>. Consulté le 5 mars 2018.

**DELEGRANGE, Alice. (2015).** Impact du phytoplancton sur les juvéniles de bar (*Dicentrarchus labrax*) en milieu aquacole. Approches in situ et expérimentales. *Thèse de*

*doctorat* : Université du Littoral Côte d'Opale, France. Disponible à l'adresse : <tel.archives-ouvertes.fr>. Consulté le : 10 avril 2018.

**DGAL/SDSSA. (2013).** Mesures de gestion lors d'alertes liées à la présence de phycotoxines et de phytoplanctons toxiques dans les zones de production de coquillages. DGAL/SDSSA/2013-9910. In : Bulletin officiel du Ministère de l'agriculture et de l'alimentation - Instructions du ministère de l'agriculture depuis 1998 et bulletin officiel depuis 2014 (B.O.agri). Disponible à l'adresse : <info.agriculture.gouv.fr>. Consulté le 17 août 2018.

**EEA. (1999).** State of the environment reporting: Institution and legal arrangements in Europe. Technical report n°26. Copenhagen. European Environment Agency. Disponible à l'adresse : <www.eea.europa.eu>. Consulté le 24 avril 2018.

**GAILHARD, Isabelle (2003).** Analyse de la variabilité spatio-temporelle des populations microalgales côtières observées par le REseau de surveillance du PHYtoplancton et des phycotoxines (REPHY) : Université de la Méditerranée Aix-Marseille II. Disponible à l'adresse : <www.archimer.ifremer.fr>. Consulté le : 13 mai 2018.

**GLEGG, G., JEFFERSON, R. et FLETCHER, S. (2015).** Marine governance in the English Channel (La Manche) : Linking science and management. In : *Marine Pollution Bulletin*. 30 juin 2015. Vol. 95, n° 2, p. 707-718. Disponible à l'adresse : <www.sciencedirect.com>. Consulté le 30 juillet 2018.

**GRATTAN, Lynn M., HOLOBAUGH, Sailor et MORRIS, J. Glenn. (2016).** Harmful algal blooms and public health. In : *Harmful Algae*. Vol. 57, p. 2-8. Disponible à l'adresse : <www.elsevier.com>. Consulté le 5 mars 2018.

**GROGA, Noël. (2012).** Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo (Côte d'Ivoire). *Thèse de doctorat* : Université de Toulouse, France. 224 p. Disponible à l'adresse : <oatao.univ-toulouse.fr>. Consulté le : 07 mars 2018.

**HALLEGRAEFF, Gustaaf M., ANDERSON, Donald M., CEMBELLA Henrik O. (2004).** Manual on harmful marine microalgae. 2<sup>ème</sup> édition. Paris : UNESCO. pp. 25-49. Disponible à l'adresse : <unesdoc.unesco.org>. Consulté le : 12 avril 2018.

**HOUET, Thomas, HUBERT-MOY, Laurence, CORGNE, Samuel et MARCHAND, Jean-Pierre. (2008).** Approche systémique du fonctionnement d'un territoire agricole bocager. In : *Espace Géographique*, n° 3, p. 270-286. Disponible à l'adresse : <hal.archives-ouvertes.fr>. Consulté le 25 mai 2018.

**HOULIEZ, Emilie. (2012).** Contrôle de l'activité photosynthétique du phytoplancton en milieu côtier : utilisation de la fluorescence spectrale et de la fluorimétrie modulée. *Thèse de doctorat* : Université de Lille I. 370 p. Disponible à l'adresse : <tel.archives-ouvertes.fr>. Consulté le 24 mai 2018.

**IFREMER - SIH. (2017).** Activité des navires de pêche - 2016 - région Normandie.

**IFREMER, ODE/VIGIES et COORDINATION REPHY & CELLULES QUADRIGE. (2017).** Manuel pour l'utilisation des données REPHYTOX. Informations destinées à améliorer la compréhension des fichiers de données REPHYTOX mis à disposition des scientifiques et du public. Disponible à l'adresse : <archimer.ifremer.fr>. Consulté le 17 août 2018.

**IFREMER, ODE/VIGIES, Coordination REPHY & Cellule Quadrige. (2017).** Manuel pour l'utilisation des données REPHY. Informations destinées à améliorer la compréhension des fichiers de données REPHY mis à disposition des scientifiques et du public. ODE/VIGIES/17-15. Disponible à l'adresse : <archimer.ifremer.fr>. Consulté le 17 août 2018./

**KUDELA, R. M., BERDALET, E., BERNARD, S., BURFORD, M., FERNAND, L., LU, S., ROY, S., TESTER, P., USUP, G., MAGNIEN, R. (2015).** Harmful algal blooms : A scientific summary for policy makers. Disponible à l'adresse : <ecite.utas.edu.au>. Consulté le : 09 mars 2018.

**MILLER, Peter I., SHULTER, Jamie D., MOORE, Gerald F., GROOM, Steve B. (2006).** SeaWiFS discrimination of harmful algal bloom evolution. In : *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 27, n° 11, p. 2287-2301. Disponible à l'adresse : <www.tandfonline.com>. Consulté le 10 avril 2018.

**MORVAN, Gaël. (2012).** Caractéristiques et état écologique (Manche - Mer du Nord) - Etat physique et chimique - Caractéristiques physiques, topographie et bathymétrie des fonds marins - relief. SHOM - Ifremer. Disponible à l'adresse : <www.ifremer.fr>. Consulté le : 24 juin 2018.

**NEAUD-MASSON, Nathalie et LEMOINE, Maud. (2017).** Procédure nationale de la surveillance sanitaire des phycotoxines réglementées dans les zones de production de coquillages. Prescriptions du réseau de surveillance des phycotoxines dans les organismes marins (REPHYTOX). Date de mise en application : janvier 2018. Disponible à l'adresse : <archimer.ifremer.fr>. Consulté le 12 juin 2018.

**NUNES, Paulo A. L. D. et MARKANDYA, Anil. (2008).** Economic value of damage caused by marine bio-invasions : lessons from two European case studies. In : *ICES Journal of Marine Science*. Vol. 65, n° 5, p. 775-780. DOI 10.1093/icesjms/fsn078. Disponible à l'adresse : <academic.oup.com>. Consulté le 5 mars 2018.

**PETTERSSON, Lasse H. et POZDNYAKOV, Dmitry. (2013).** Monitoring of Harmful Algal Blooms. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg. Disponible à l'adresse : <link.springer.com>. Consulté le 5 mars 2018.

**REIS, S., MORRIS, G., FLEMING, L.E., BECK, S., TAYLOR, T., WHITE, M., DEPLEDGE, M. H., STEINLE, S., SABEL, C.E., COWIE, H., HURLEY, F., DICK, J. McP., SMITH, R. I., AUSTEN, M. (2015).** Integrating health and environmental impact analysis. In : *Public Health*. Vol. 129, n° 10, p. 1383-1389. Disponible à l'adresse : <linkinghub.elsevier.com>. Consulté le 22 août 2018.

**SANSEVERINO, Isabella, CONDUTO, Diana, POZZOLI, Luca, DOBRICIC, Srdan, LETTIERI, Teresa. (2016).** Algal bloom and its economic impact. *Luxembourg : Publications Office*. Disponible à l'adresse : <bookshop.europa.eu>. Consulté le 4 mars 2018.

**SCHWEIBOLD, Laura. (2017).** Global status of harmful algal blooms : first steps of a metadata approach. Disponible à l'adresse : <www.researchgate.net>. Consulté le : 17 mai 2018.

**SHEN, Li, XU, Huiping et GUO, Xulin. (2012).** Satellite Remote Sensing of Harmful Algal Blooms (HABs) and a Potential Synthesized Framework. In : *Sensors (Basel, Switzerland)*. Vol. 12, n° 6, p. 7778-7803. DOI 10.3390/s120607778. Disponible à l'adresse : <www.ncbi.nlm.nih.gov>. Consulté le 10 avril 2018.

**SHOM. (2015).** MNT Bathymétrie de façade Atlantique (Projet Homonim).  
<[dx.doi.org/10.17183/MNT\\_ATL100m\\_HOMONIM\\_WGS84](https://doi.org/10.17183/MNT_ATL100m_HOMONIM_WGS84)>.

**SMAYDA, Theodore J. (1997).** Harmful algal blooms : Their ecophysiology and general relevance to phytoplankton blooms in the sea. In : *Limnology and Oceanography*. Vol. 42, n° 5part2, p. 1137-1153. Disponible à l'adresse : <[onlinelibrary.wiley.com](http://onlinelibrary.wiley.com)>. Consulté le 6 mars 2018.

**SOURISSEAU, M. (2016).** Distribution and dynamics of two species of Dinophyceae producing high biomass blooms over the French Atlantic Shelf. In : *Harmful Algae*. Vol. 53, p. 53-63. DOI 10.1016/j.hal.2015.11.016. Disponible à l'adresse : <[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)>. Consulté le 17 mai 2018.

**TEEN, LiM Po, GIRES, USUP et PIN, LeAW CHUi. (2012).** Harmful algal blooms in Malaysian waters. In : *Sains Malaysiana*. Vol. 41, n° 12, p. 1509–1515. Disponible à l'adresse : <[www.harmfulalgae.info](http://www.harmfulalgae.info)>. Consulté le : 06 mars 2018.

**WATSON, Sue B., WHITTON, Brian A., HIGGINS, Scott N., PAERL, Hans W., BROOKS, Bryan W., WEHR, John D. (2015).** Harmful Algal Blooms. In : *Freshwater Algae of North America*. In : *Elsevier*. p. 873-920. ISBN 978-0-12-385876-4. Disponible à l'adresse : <[www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)>. Consulté le 5 mars 2018.

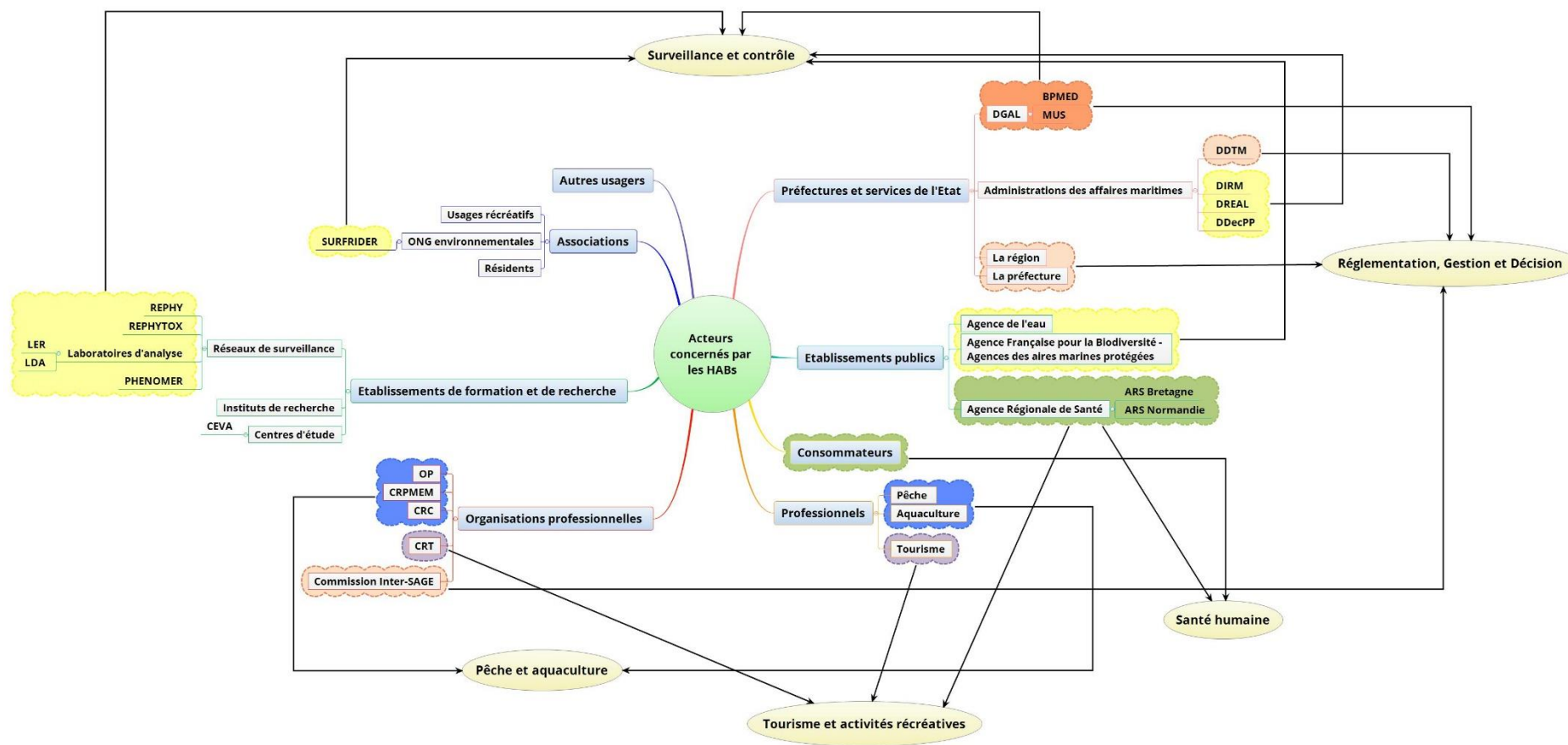
**ZINGONE, Adriana et ENEVOLDSEN, Henrik Oksfeldt. (2000).** The diversity of harmful algal blooms : a challenge for science and management. In : *Ocean & Coastal Management*. Vol. 43, n° 8-9, p. 725-748. Disponible à l'adresse : <[www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)>. Consulté le 9 avril 2018.

## Annexes

### Annexe 1. Liste des participants à l'atelier de Caen le 16 mai 2018

| Organisme                                                        | Nom et prénom         | Participation |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------|
| CRPMEM Normandie                                                 | Catherine PAUL        | OUI           |
| DIRM-MEMN                                                        | M. SELLAM             | OUI           |
| Agence Française de la Biodiversité                              | Gwenola DE ROTON      | OUI           |
| Agence de l'Eau Seine Normandie                                  | Julien DE BORTOLI     | OUI           |
| Comité Régional Conchylicole Manche Est Mer du Nord              | Manuel SAVARY         | OUI           |
| Agence Régionale de Santé de Normandie                           | Gautier JUE           | OUI           |
| DDTM du Calvados                                                 | Philippe LE ROLLAND   | OUI           |
| DDTM de la Seine Maritime                                        | David BUHE            | NON           |
| Région Normandie DARM                                            | Aude JOUAUX           | OUI           |
| CRCBN                                                            | Goulven BREST         | NON           |
| Agence Régionale de santé en Bretagne                            | Jean-Luc PRIGENT      | OUI           |
| La commission inter-Sage de la baie du Mont-Saint-Michel         | Laurent TRAVERS       | NON           |
| CEVA (Centre d'études et de valorisation des algues)             | Pierre-Olivier LIABOT | OUI           |
| Comité régional du tourisme de Bretagne                          | Audray LEGARDEUR      | NON           |
| Surfrider                                                        | Philippe BENCIVONGO   | NON           |
| Agence de l'eau Loire-Bretagne                                   | Philippe FERA         | OUI           |
| Agence de l'eau Artois-Picardie                                  | Jean PRYGIEL          | NON           |
| Service Eau et Nature; Pôle Délégation de bassin Artois-Picardie | Valerie WULLUS        | OUI           |
| AFB                                                              | Hervé MOALIC          | NON           |
| LELR MPL Ifremer Nantes                                          | Lucie BRIZZOZERO      | OUI           |
| DIRM (animation des PAMMs - DCSMM)                               | Anne Cornée           | NON           |
| Président de la commission sanitaire CNPMEM                      | Denis ROBIOLLE        | OUI           |
| Comité Régionale des Pêches de Normandie                         | Benoit DUVAL          | OUI           |
| Marin pêcheur CDPM                                               | Alexie BOTTIN         | OUI           |
| Comité Départemental des Pêches du Calvados                      | Lionel BOTTIN         | OUI           |
| IFREMER                                                          | Sylvaine FRANCOISE    | NON           |
| UBO                                                              | Thomas POITELON       | NON           |

Annexe 2. Carte du réseau d'acteurs concernés par les HABs





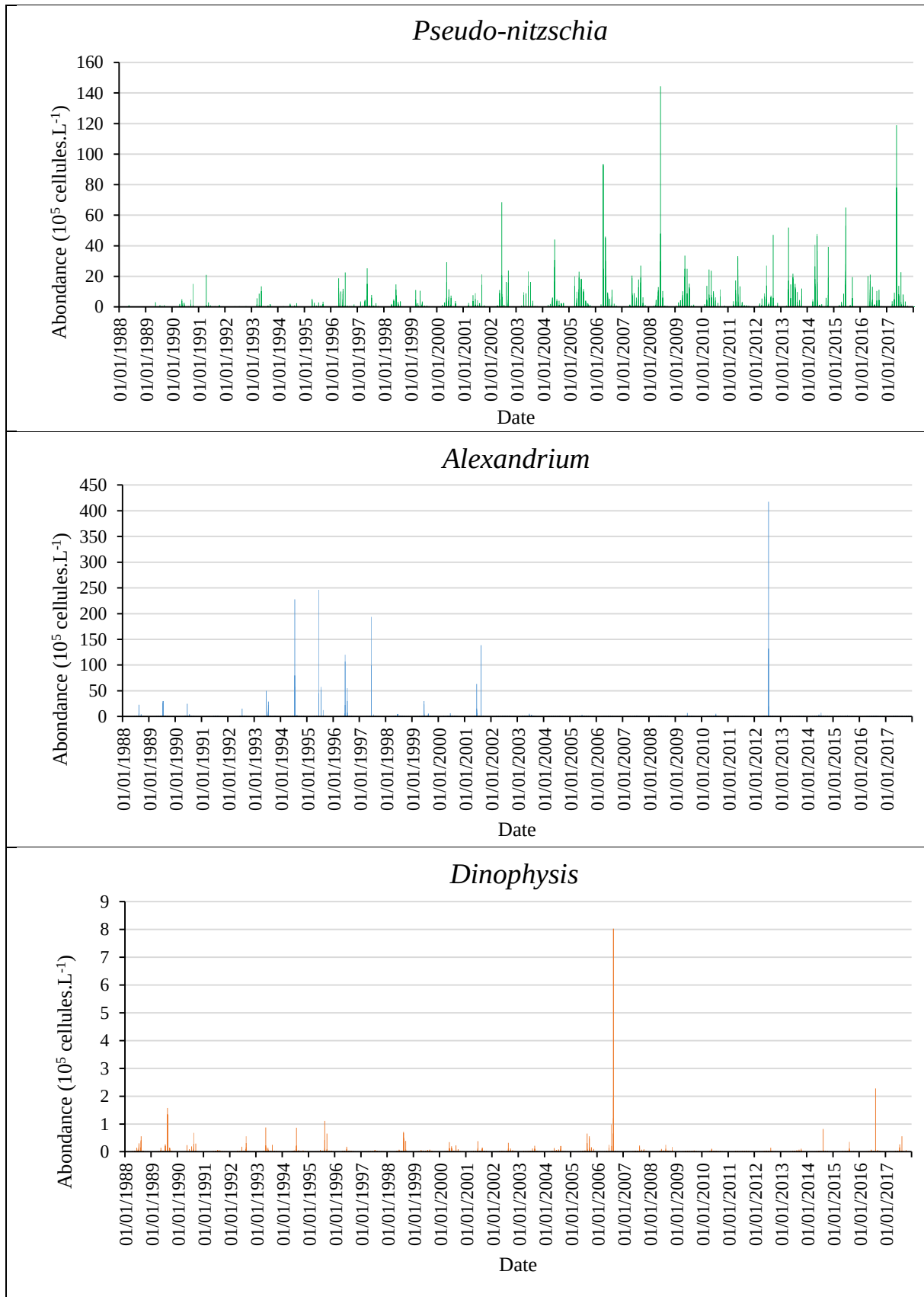
**Annexe 3.** Seuils d’alerte de phytoplanctons toxiques (Neaud-Masson & Lemoine, 2017)

| <b>Taxons</b>                                                                                                                                                         | <b>Seuil d’alerte phytoplancton</b>                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Dinophysis</i>                                                                                                                                                     | Dès présence                                                                                                              |
| <i>Alexandrium</i><br><i>Alexandrium minutum</i><br><i>Alexandrium catenella</i> / <i>tamarense</i><br><i>Alexandrium</i> spp (autres espèces d’ <i>Alexandrium</i> ) | 10 000 cellules par litre d’eau de mer<br>5 000 cellules par litre d’eau de mer<br>10 000 cellules par litre d’eau de mer |
| <i>Pseudo-nitzschia</i><br>Groupe des fines<br>Groupe des larges                                                                                                      | 300 000 cellules par litre d’eau de mer<br>100 000 cellules par litre d’eau de mer                                        |

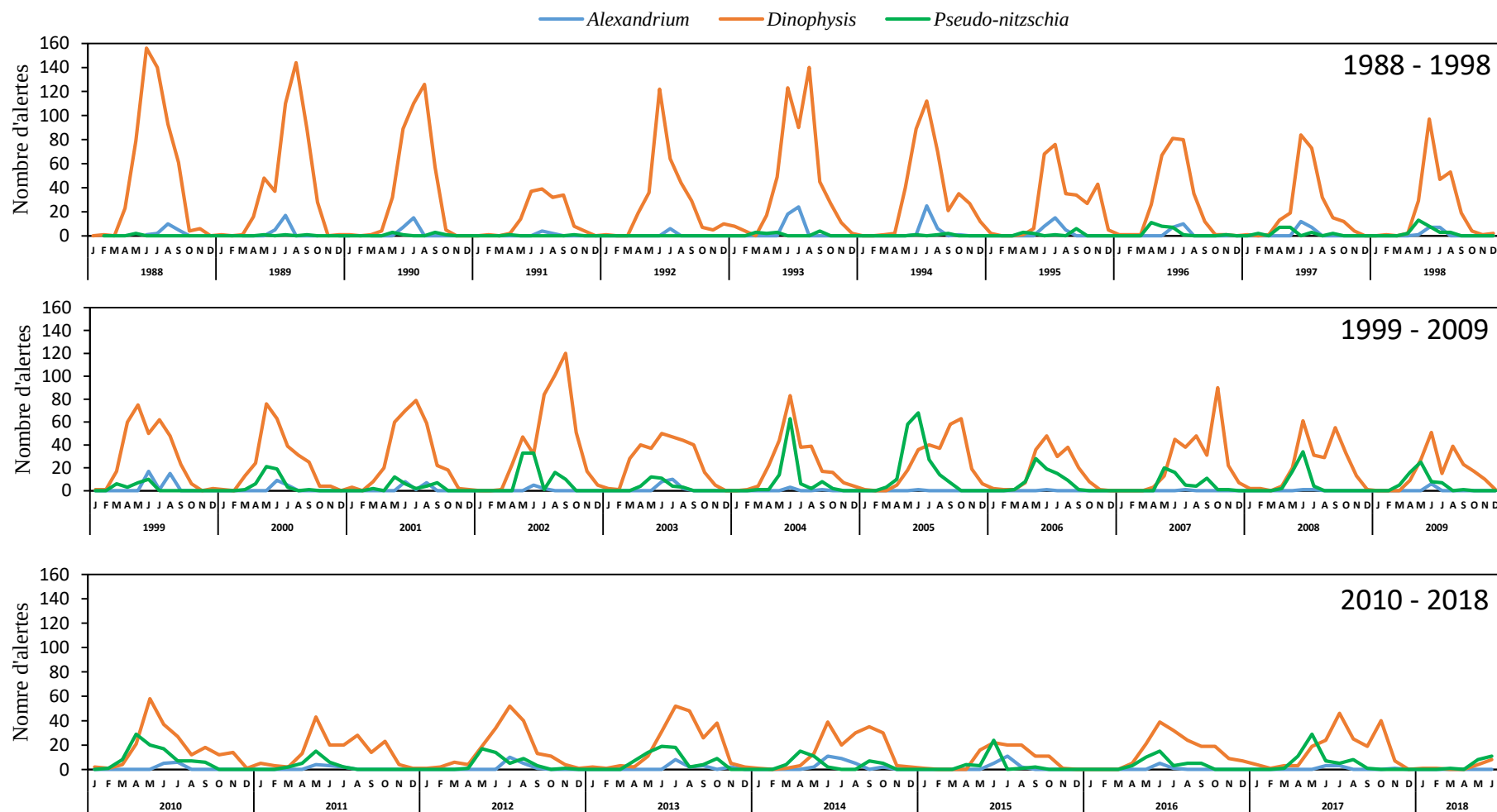
**Annexe 4.** Seuils réglementaires de sécurité sanitaire phycotoxines

| <b>Groupes de toxines</b>                                           | <b>Seuil réglementaire</b>                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Toxines lipophiles</b>                                           |                                                                                                                                                                                |
| Acide okadaïque, dinophysistoxines et pectenotoxines (AO+DTXs+PTXs) | 160 µg d’équivalent AO par kg de chair                                                                                                                                         |
| Azaspiracides (AZAs)                                                | 160 µg d’équivalent AZA par kg de chair                                                                                                                                        |
| Yessotoxines (YTXs)                                                 | 3750 µg d’équivalent YTX par kg de chair                                                                                                                                       |
| <b>Toxines paralysantes (PSP)</b>                                   |                                                                                                                                                                                |
| Saxitoxine (STX)                                                    | 800 µg d’équivalent STX                                                                                                                                                        |
| <b>Toxines amnésiantes (ASP)</b>                                    |                                                                                                                                                                                |
| Acide domoïque (AD)                                                 | 20 mg d’acide domoïque par kg de chair<br><br>4,6 mg d’acide domoïque par kg pour l’autorisation de la mise en place d’une filière d’éviscération des coquilles Saint-Jacques. |

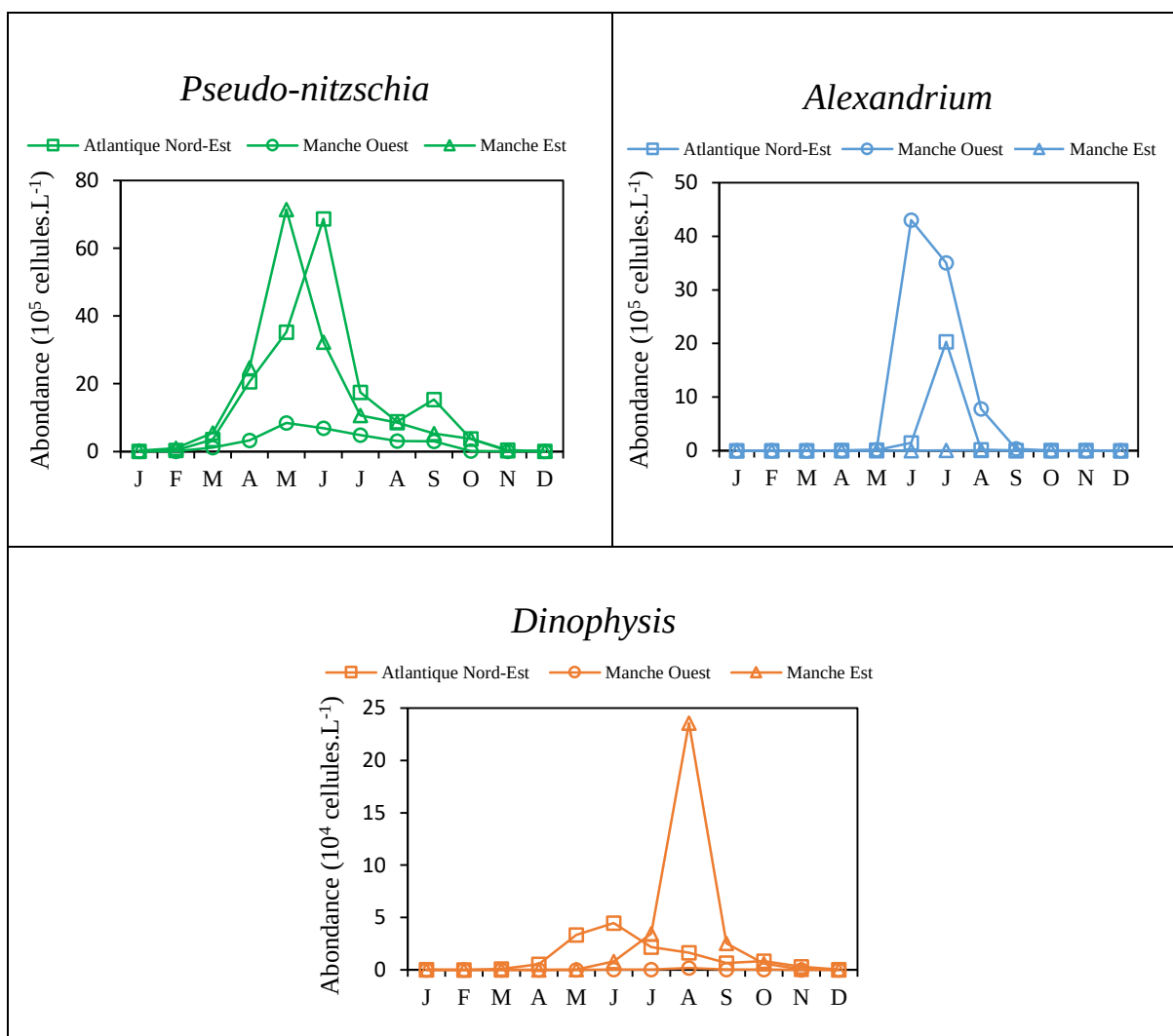
**Annexe 5.** Evolution temporelle des occurrences des phytoplanctons produisant les toxines réglementé (zones marines confondues : de la zone 1 jusqu'à la zone 63)



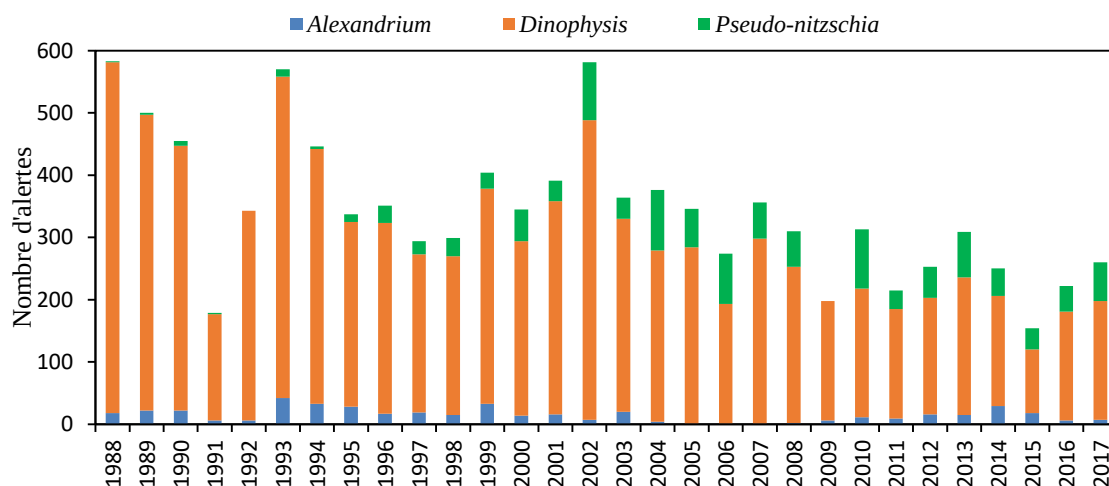
## Annexe 6. Evolution temporelle du nombre d'alertes de phytoplanctons toxiques



## Annexe 7. Abondance des phytoplanctons toxiques en fonction des zones



## Annexe 8. Nombre annuelle d'alertes de phytoplanctons toxiques



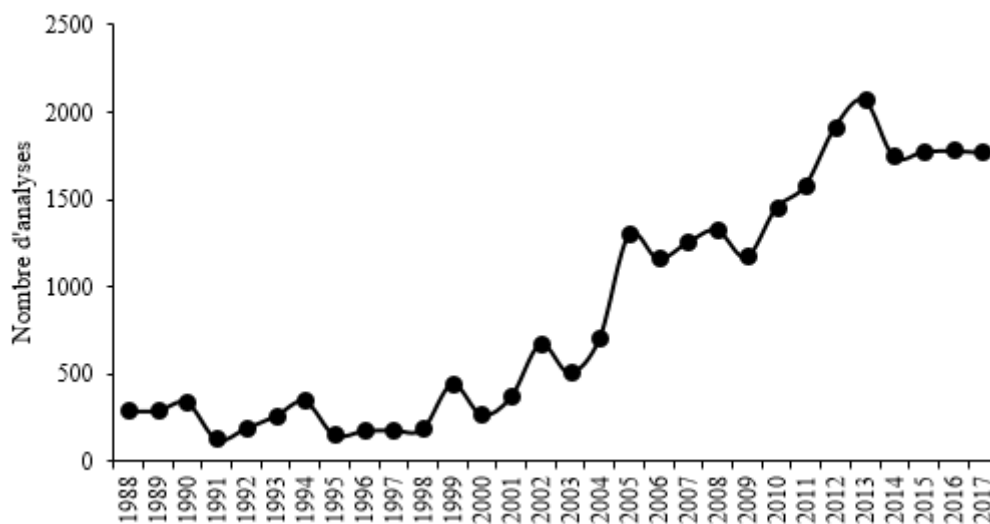
**Annexe 9.** Critères de sélection des données réglementaires (vert : réglementé – noir : non réglementé)

|                                          | Méthodes                                             | Année       | Fraction                                                                                                                                                                                                                                                  | Paramètre                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Toxines lipophiles, dont les DSP</b>  |                                                      |             |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Bio-essai sur souris</b>              | Toxicité globale acétone                             | 1987 - 2000 | <b>Glande digestive :</b><br>fraction officielle pour le bio-essai réglementaire (depuis 2010, c'est fraction utilisée pour la vigilance)<br><b>Chair totale égouttée :</b><br>fraction utilisée et validée entre 1999 et 2009 pour certains coquillages. | <b>SVSOUMOY</b> (le temps de survie moyen des souris)                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                                          | <b>Toxicité DSP dichlorométhane</b>                  | 1987 - 2008 |                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>SVSOUMED</b> (le temps de survie médian des souris)                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                          | Toxicité atypique méthanol                           | 1994 - 2001 |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                          | <b>Toxines lipophiles Yasumoto 84 modifié</b>        | 2002 - 2015 |                                                                                                                                                                                                                                                           | SVSOURI1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                                          | <b>Toxines lipophiles Hannah <i>et al.</i>, 1995</b> | 2003 - 2009 |                                                                                                                                                                                                                                                           | SVSOURI2<br>SVSOURI3<br>SVSOURIS                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                          | ANSES LNRBM - LIP 01                                 | Depuis 2015 | <b>Les 3 fractions</b> (Chair + liquide intervalvaire, Chair sans glande digestive et Muscle + gonade) ne sont pas correctes (ne pas utiliser ces résultats)                                                                                              | SYMPTSOU1<br>SYMPTSOU2<br>SYMPTSOU3<br>SYMPTSOUS                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Analyses chimiques par CL/-SM/-SM</b> | <b>CL-SM/SM toxines lipophiles 2009</b>              | 2008 - 2009 | <b>Chair totale égouttée et Glande digestive</b> (du 1 <sup>er</sup> janvier au 30 avril 2010)<br>Seulement <b>Chair totale égouttée</b> à partir du 1 <sup>er</sup> mai 2010                                                                             | <b>AO+DTXs+PTXs-TEFs</b> (Somme des AO+DTXs+PTXs corrigée à son <i>Toxic Equivalent Factor</i> )<br><b>AZAs-TEFs</b> (Somme des AZAs corrigée à son <i>Toxic Equivalent Factor</i> )<br><b>YTX-TEFs</b> (Somme des AZAs corrigée à son <i>Toxic Equivalent Factor</i> )<br><br><b>28 d'autres paramètres</b> (Ils ne sont pas réglementés) |
|                                          | <b>ANSES PBM BM LSA_INS-0147</b>                     | Depuis 2010 |                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

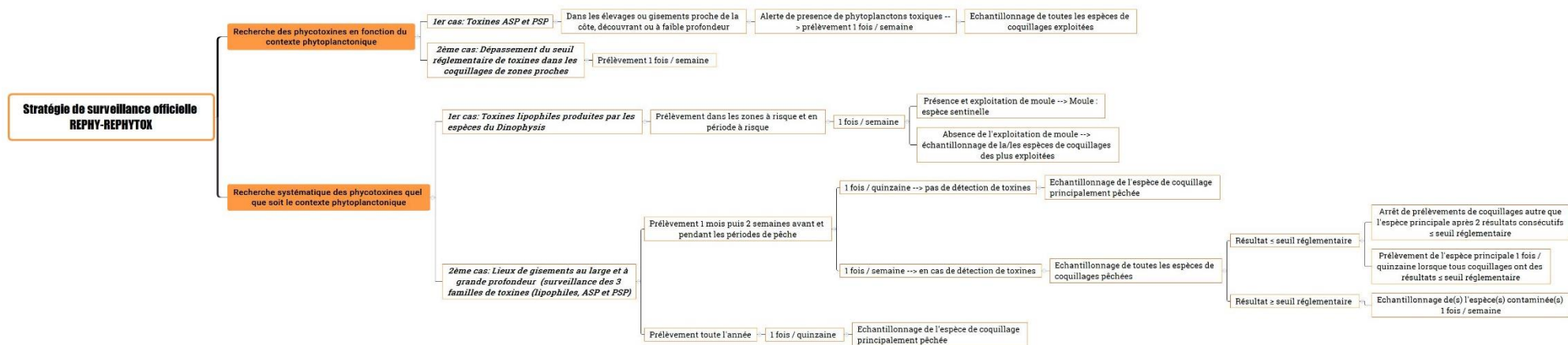
**Annexe 9. Suite**

| Toxines Paralysantes (PSP)        |                                                   |                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                      |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Bio-essai sur souris              | Test souris PSP/<br>quantification en<br>équ. STX | 1988 - 2015    | Chair totale égouttée                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | TOXPSP (toxicité PSP)                                |
|                                   | ANSES LNRBM<br>- PSP 01                           | Depuis<br>2015 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | PSP (Toxines PSP)<br><br>USPSP (Unité souris<br>PSP) |
| Toxines Amnésiantes (ASP)         |                                                   |                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                      |
| Analyses chimiques<br>par CLHP/UV | CLHP/UV<br>toxines<br>amnésiastes                 | 1999 - 2015    | Chair totale égouttée :<br>fraction officielle pour<br>l’analyse réglementaire<br>des ASP.<br>Chair sans glande<br>digestive, Glande<br>digestives : de<br>préférence à ne pas<br>utiliser car elles ne<br>sont pas correctes.<br>Muscle + gonade,<br>Gonade, Muscle : ces<br>données ne peuvent<br>pas être comparées à<br>celles sur chair totale | Un seul paramètre<br>présent :<br>ASP (Toxines ASP)  |
|                                   | ANSES LNRBM<br>- ASP 01                           | Depuis<br>2015 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                      |

**Annexe 10. Nombre d'analyses de phycotoxines**



## Annexe 11. Stratégie de surveillance officielle des réseaux REPHY et REPHYTOX



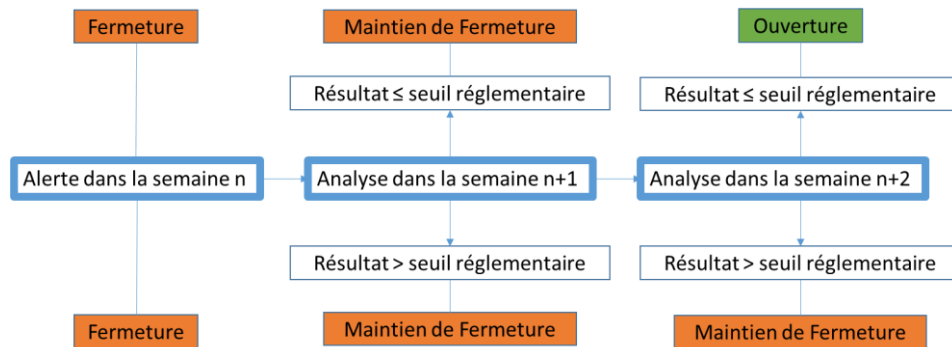


**Annexe 12.** Le script de calcul du nombre de fermeture et de la durée des fermetures sous le logiciel R

**Explication du script :**

La programmation a été faite en se basant sur la réglementation et les stratégies et processus de surveillance mis en œuvre par les réseaux de surveillance REPHY et REPHYTOX, décrites au chapitre II. Un calendrier de fermetures a ainsi été réalisé : il s'agit d'un codage de 0 et 1 pour chaque lieu et date de prélèvement, dont les 0 représentent les résultats inférieurs ou égaux au seuil réglementaire et donc les ouvertures, et les 1 représentent les résultats d'analyses supérieurs au seuil réglementaire et donc les fermetures.

Ce calendrier a été ensuite utilisé pour calculer ensuite la durée des fermetures en nombre de jours, en triant les lieux de prélèvement par zone de production et par date. La durée de fermetures a donc été calculée de la manière suivante : après un résultat supérieur au seuil réglementaire, la zone concernée sera fermée. En appliquant la réglementation, elle ne peut être réouverte qu'après avoir deux résultats successifs inférieurs ou égaux au seuil réglementaire.



*Schéma logique du calcul du nombre et de la durée des fermetures d'une zone de production*

**Le script :**

Ce script a été construit avec le support de Mathieu Merzéréaud de l'Ifremer (UMR AMURE) qui a traduit et écrit le schéma logique dans un premier script. Le script initial a ensuite été modifié, documenté, reproduit et appliqué aux bases construites à partir de REPHY et REPHYTOX :

```

DFbdd2 <- rbind.data.frame(read.table("C:/Users/spare/Desktop/JointureZoneMarine-
ZoneCSJ/ASP_Normandie.txt",sep="\t",quote="",header=TRUE,stringsAsFactors = FALSE),
                           read.table("C:/Users/spare/Desktop/JointureZoneMarine-
ZoneCSJ/PSP_Normandie.txt",sep="\t",quote="",header=TRUE,stringsAsFactors = FALSE),
                           read.table("C:/Users/spare/Desktop/JointureZoneMarine-
ZoneCSJ/ToxLip_AC_Normandie.txt",sep="\t",quote="",header=TRUE,stringsAsFactors = FALSE),
                           read.table("C:/Users/spare/Desktop/JointureZoneMarine-
ZoneCSJ/ToxLip_BE_Normandie.txt",sep="\t",quote="",header=TRUE,stringsAsFactors = FALSE))

# unicité de l'information

DFbdd2 <- unique(DFbdd2)
head(DFbdd2)
dim(DFbdd2)
  
```

## Annexes

```
# sélection dans DFbdd2
DFbddSelec <-
DFbdd2[,c("Résultat...Identifiant", "Lieu.de.surveillance...Entité.de.classement...Identifiant", "Lieu.de.surveillane.
..Mnémonique", "Passage...Date",
"Echantillon...Identifiant.interne", "Echantillon...Libellé.du.taxon.support", "Résultat...Code.paramètre", "Résultat.
..Libellé.méthode",
"Résultat...Valeur.de.la.mesure", "Lieu.de.surveillance...Entité.de.classement...Libellé", "Résultat...Libellé.fraction
n", "ZoneCSJ")]
names(DFbddSelec) <-
c("Identifiant_Résultat", "Identifiant_Lieu_surveillance", "Mnémonique_Lieu_surveillance", "Date_Passage",
"Identifiant_Echantillon", "Support_Echantillon", "Code_paramètre_Résultat", "Libellé_méthode_Résultat",
"Valeur_mesure_Résultat", "Libelle_Lieu_surveillance", "Libellé_fraction", "ZoneCSJ")
head(DFbddSelec)
DF <- DFbddSelec
# on peut maintenant travailler uniquement sur DF
DFref <- read.table("F:/TraitementToxines/DFreglem.txt", sep="\t", quote="", header=TRUE)
DFref <- unique(DFref)
dim(DFref)
DFref
DF <- merge(DF, DFref, all.x=TRUE)
dim(DF)
head(DF)
subASP2 <- subset(DF, Libellé_fraction%in%c("Muscle + gonade", "Gonade", "Muscle"))
rownames(subASP2) <- 1:nrow(subASP2)
DF <- subset(DF, Libellé_fraction%in%c("Muscle + gonade", "Gonade", "Muscle"))
subASP3 <- subASP2[tapply(1:nrow(subASP2), list(subASP2$Identifiant_Echantillon), function(x)
x[which.max(subASP2[x, "Valeur_mesure_Résultat"])]), ]
subASP3$FermetureBis <- as.integer(subASP3$Valeur_mesure_Résultat > subASP3$Seuil_réglementaire)
subASP3$Valeur_mesure_RésultatBis <- subASP3$Valeur_mesure_Résultat
subASP3$Seuil_réglementaireBis <- subASP3$Seuil_réglementaire
subASP3$UnitéBis <- subASP3$Unité
DFcopy <- DF
DF <-
merge(DF, subASP3[, c("Identifiant_Echantillon", "FermetureBis", "Valeur_mesure_RésultatBis", "Seuil_réglemen
taireBis", "UnitéBis")], all.x=TRUE)
# on commence par ne conserver que les tests réglementaires effectués, car ils sont les seuls à pouvoir entraîner
une fermeture ou une (ré)ouverture
# on convertit les champs 'date'
DF$Date_Passage_V2 <- as.Date(as.character(DF$Date_Passage), "%d/%m/%Y")
DF$Début_Période_réglementaire_V2 <- as.Date(as.character(DF$Début_Période_réglementaire),
"%d/%m/%Y")
DF$Fin_Période_réglementaire_V2 <- as.Date(as.character(DF$Fin_Période_réglementaire), "%d/%m/%Y")
DF$Reglementaire <- TRUE
DF$Reglementaire[is.na(DF$Seuil_réglementaire)] <- FALSE
DF$Reglementaire[DF$Date_Passage_V2 < DF$Début_Période_réglementaire_V2] <- FALSE
DF$Reglementaire[DF$Date_Passage_V2 > DF$Fin_Période_réglementaire_V2] <- FALSE
# on en déduit l'ensemble des tests réglementaires
DFregl <- DF[DF$Reglementaire, ]
DFregl$TestPositif <- 0 #ie pouvant entraîner une fermeture si TestPositif = 1
DFregl$TestPositif[DFregl$Code_paramètre_Résultat%in%c("SVSOU MED") &
DFregl$Valeur_mesure_Résultat < DFregl$Seuil_réglementaire] <- 1 # pas de fermeture si égal au seuil
DFregl$TestPositif[!DFregl$Code_paramètre_Résultat%in%c("SVSOU MED") &
DFregl$Valeur_mesure_Résultat > DFregl$Seuil_réglementaire] <- 1
# on corrige testPositif en fonction des résultats dans 'FermetureBis'
DFregl$TestPositif[!is.na(DFregl$FermetureBis)] <- DFregl$FermetureBis[!is.na(DFregl$FermetureBis)]
DFregl$Code_paramètre_Résultat <- as.character(DFregl$Code_paramètre_Résultat)
```

```

DFregl$Code_paramètre_Résultat[DFregl$Code_paramètre_Résultat%in%"ASP" &
!is.na(DFregl$FermetureBis)] <- "ASPbis"
DFregl$Code_paramètre_Résultat <- factor(DFregl$Code_paramètre_Résultat)
DFregl$Unité <- as.character(DFregl$Unité)
DFregl$Unité[!is.na(DFregl$FermetureBis)] <- as.character(DFregl$UnitéBis)[!is.na(DFregl$FermetureBis)]
DFregl$Seuil_réglementaire[!is.na(DFregl$FermetureBis)] <-
DFregl$Seuil_réglementaireBis[!is.na(DFregl$FermetureBis)]
DFregl$Valeur_mesure_Résultat[!is.na(DFregl$FermetureBis)] <-
DFregl$Valeur_mesure_RésultatBis[!is.na(DFregl$FermetureBis)]
DFregl$zoneNum <- sapply(DFregl$ZoneCSJ,function(x) substring(x,1,3))
table(DFregl$zoneNum) ; table(DFregl$année)
library(reshape)
synth1 <- cast(DFregl,ZoneCSJ + Date_Passage_V2 ~ Groupe_toxines, sum, margins=FALSE,
value="TestPositif",fill=NA)
for (i in levels(DFregl$Groupe_toxines)) if (!i%in%names(synth1)) synth1[,i] <- NA #il peut y avoir des
occurences Toxines absentes (ex:Toxines amnésiantes)
synth1 <- synth1[,c("ZoneCSJ","Date_Passage_V2",levels(DFregl$Groupe_toxines))]
synth2 <- cast(DFregl,ZoneCSJ + Date_Passage_V2 ~ Code_paramètre_Résultat, sum, margins=FALSE,
value="TestPositif",fill=NA)
for (i in levels(DFregl$Code_paramètre_Résultat)) if (!i%in%names(synth2)) synth2[,i] <- NA #il peut y avoir
des occurences absentes à insérer
synth2 <- synth2[,c("ZoneCSJ","Date_Passage_V2",levels(DFregl$Code_paramètre_Résultat))]
names(synth2)[-c(1:2)] <- paste(names(synth2)[-c(1:2)],".test",sep="")
# valeurs max
synth3 <- cast(DFregl,ZoneCSJ + Date_Passage_V2 ~ Code_paramètre_Résultat, max, margins=FALSE,
value="Valeur_mesure_Résultat",fill=NA)
for (i in levels(DFregl$Code_paramètre_Résultat)) if (!i%in%names(synth3)) synth3[,i] <- NA #il peut y avoir
des occurences absentes à insérer
synth3 <- synth3[,c("ZoneCSJ","Date_Passage_V2",levels(DFregl$Code_paramètre_Résultat))]
synth3[,levels(DFregl$Code_paramètre_Résultat)][synth3[,levels(DFregl$Code_paramètre_Résultat)]==Inf] <-
NA
# valeurs min
synth4 <- cast(DFregl,ZoneCSJ + Date_Passage_V2 ~ Code_paramètre_Résultat, min, margins=FALSE,
value="Valeur_mesure_Résultat",fill=NA)
for (i in levels(DFregl$Code_paramètre_Résultat)) if (!i%in%names(synth4)) synth4[,i] <- NA #il peut y avoir
des occurences absentes à insérer
synth4 <- synth4[,c("ZoneCSJ","Date_Passage_V2",levels(DFregl$Code_paramètre_Résultat))]
synth4[,levels(DFregl$Code_paramètre_Résultat)][synth4[,levels(DFregl$Code_paramètre_Résultat)]==Inf] <-
NA
# mise en commun de synth3 et synth4 selon la pertinence de la valeur --> résultat dans synth3
synth3[,c("SVSOUMED")] <- synth4[,c("SVSOUMED")]
# on merge l'ensemble
synth <- merge(synth1,synth2,all=TRUE)
synth <- merge(synth,synth3,all=TRUE)
dim(synth)
head(synth)
# on associe à chaque enregistrement la date du test consécutif
synth$NextDate <- c(synth$Date_Passage_V2[-1],NA)
synth$ZoneCSJ <- as.character(synth$ZoneCSJ)
# par contre, ça ne fonctionne pas si on change de lieu. Dans ce cas, on impose une date de référence actuelle
(ex: la date la plus récente de l'ensemble de la donnée)
synth$NextDate[synth$ZoneCSJ!=c(synth$ZoneCSJ[-1],NA)] <- max(synth$Date_Passage_V2)
synth$NextDate[is.na(synth$NextDate)] <- max(synth$Date_Passage_V2)
# on détermine l'indicateur final de fermeture
synth$Total <- apply(synth[,c("Toxines amnésiantes","Toxines lipophiles","Toxines
paralysantes")],1,sum,na.rm=TRUE)

```

```

synth$Alerte <- as.numeric(synth$Total>0)
matS <- synth[,c("Toxines amnésiantes", "Toxines lipophiles", "Toxines paralysantes")] ; matS[is.na(matS)] <- 0
synth$Alerte.a <- as.numeric(matS$"Toxines amnésiantes">0 & !matS$"Toxines lipophiles">0 &
!matS$"Toxines paralysantes">0)
synth$Alerte.l <- as.numeric(matS$"Toxines lipophiles">0 & !matS$"Toxines amnésiantes">0 &
!matS$"Toxines paralysantes">0)
synth$Alerte.p <- as.numeric(matS$"Toxines paralysantes">0 & !matS$"Toxines amnésiantes">0 &
!matS$"Toxines lipophiles">0)
synth$Alerte.al <- as.numeric(matS$"Toxines amnésiantes">0 & matS$"Toxines lipophiles">0 &
!matS$"Toxines paralysantes">0)
synth$Alerte.ap <- as.numeric(matS$"Toxines amnésiantes">0 & matS$"Toxines paralysantes">0 &
!matS$"Toxines lipophiles">0)
synth$Alerte.lp <- as.numeric(matS$"Toxines lipophiles">0 & matS$"Toxines paralysantes">0 &
!matS$"Toxines amnésiantes">0)
synth$Alerte.alp <- as.numeric(matS$"Toxines amnésiantes">0 & matS$"Toxines lipophiles">0 &
matS$"Toxines paralysantes">0)
# on développe les jours intermédiaires
LIST <- lapply(1:nrow(synth),function(x) {REF <- synth[x,]
ecart <- as.numeric(REF$NextDate-REF$Date_Passage_V2)
if (ecart>1) {
  ADD <- REF[rep(1,ecart-1),]
  ADD$Date_Passage_V2 <- seq(REF$Date_Passage_V2+1,REF$NextDate-1,by=1)
  ADD[c(levels(DFregl$Groupe_toxines),
    paste(levels(DFregl$Code_paramètre_Résultat),".test",sep=""),
    levels(DFregl$Code_paramètre_Résultat),"Total")] <- NA
} else {
  ADD <- NULL
}
return(rbind.data.frame(REF,ADD))
})
TAB <- do.call("rbind.data.frame",LIST) #patienter un peu...
rownames(TAB) <- 1:nrow(TAB)
# on isole le jour, le mois et l'année
TAB$jour <- as.numeric(as.character(strftime(TAB$Date_Passage_V2,format="%d")))
TAB$mois <- as.numeric(as.character(strftime(TAB$Date_Passage_V2,format="%m")))
TAB$année <- strftime(TAB$Date_Passage_V2,format="%Y")
TABcopy <- TAB
# on crée le champ Fermeture en tenant compte de la zone, et de la succession des 1 et des 0 dans le champ
Alerte (si 0 précédé d'un 1, et pas de 1 pendant 14 jours, alors 0 confirmé à partir de ce 14ème jour)
TAB2 <- lapply(as.character(unique(TAB$ZoneCSJ)),function(x) {
  # print(x)
  tmp <- subset(TAB,ZoneCSJ%in%x)
  index <- 1+which(tmp$Alerte[-1]%in%0 & tmp$Alerte[-nrow(tmp)]%in%1) ; tmp$Fermeture <- tmp$Alerte
  index.a <- 1+which(tmp$Alerte.a[-1]%in%0 & tmp$Alerte.a[-nrow(tmp)]%in%1) ; tmp$Fermeture.a <-
tmp$Alerte.a
  index.l <- 1+which(tmp$Alerte.l[-1]%in%0 & tmp$Alerte.l[-nrow(tmp)]%in%1) ; tmp$Fermeture.l <-
tmp$Alerte.l
  index.p <- 1+which(tmp$Alerte.p[-1]%in%0 & tmp$Alerte.p[-nrow(tmp)]%in%1) ; tmp$Fermeture.p <-
tmp$Alerte.p
  index.al <- 1+which(tmp$Alerte.al[-1]%in%0 & tmp$Alerte.al[-nrow(tmp)]%in%1) ; tmp$Fermeture.al <-
tmp$Alerte.al
  index.ap <- 1+which(tmp$Alerte.ap[-1]%in%0 & tmp$Alerte.ap[-nrow(tmp)]%in%1) ; tmp$Fermeture.ap <-
tmp$Alerte.ap
  index.lp <- 1+which(tmp$Alerte.lp[-1]%in%0 & tmp$Alerte.lp[-nrow(tmp)]%in%1) ; tmp$Fermeture.lp <-
tmp$Alerte.lp

```

```

index.alp <- 1+which(tmp$Alerte.alp[-1]%in%0 & tmp$Alerte.alp[-nrow(tmp)]%in%1) ; tmp$Fermeture.alp <-
tmp$Alerte.alp
if (length(index)>0) {
  index2 <- c(index-1,nrow(tmp))
  lgth <- unlist(lapply(1:length(index),function(y) sum(tmp$Alerte[index[y]:index2[y+1]]%in%0)))
  thresh <- sapply(lgth,min,14)
  tmp$Fermeture[unlist(lapply(1:length(index),function(z) seq(index[z],length=thresh[z])))] <- 1
}
if (length(index.a)>0) {
  index2.a <- c(index.a-1,nrow(tmp))
  lgth.a <- unlist(lapply(1:length(index.a),function(y) sum(tmp$Alerte.a[index.a[y]:index2.a[y+1]]%in%0)))
  thresh.a <- sapply(lgth.a,min,14)
  tmp$Fermeture.a[unlist(lapply(1:length(index.a),function(z) seq(index.a[z],length=thresh.a[z])))] <- 1
}
if (length(index.l)>0) {
  index2.l <- c(index.l-1,nrow(tmp))
  lgth.l <- unlist(lapply(1:length(index.l),function(y) sum(tmp$Alerte.l[index.l[y]:index2.l[y+1]]%in%0)))
  thresh.l <- sapply(lgth.l,min,14)
  tmp$Fermeture.l[unlist(lapply(1:length(index.l),function(z) seq(index.l[z],length=thresh.l[z])))] <- 1
}
if (length(index.p)>0) {
  index2.p <- c(index.p-1,nrow(tmp))
  lgth.p <- unlist(lapply(1:length(index.p),function(y) sum(tmp$Alerte.p[index.p[y]:index2.p[y+1]]%in%0)))
  thresh.p <- sapply(lgth.p,min,14)
  tmp$Fermeture.p[unlist(lapply(1:length(index.p),function(z) seq(index.p[z],length=thresh.p[z])))] <- 1
}
if (length(index.al)>0) {
  index2.al <- c(index.al-1,nrow(tmp))
  lgth.al <- unlist(lapply(1:length(index.al),function(y) sum(tmp$Alerte.al[index.al[y]:index2.al[y+1]]%in%0)))
  thresh.al <- sapply(lgth.al,min,14)
  tmp$Fermeture.al[unlist(lapply(1:length(index.al),function(z) seq(index.al[z],length=thresh.al[z])))] <- 1
}
if (length(index.ap)>0) {
  index2.ap <- c(index.ap-1,nrow(tmp))
  lgth.ap <- unlist(lapply(1:length(index.ap),function(y)
sum(tmp$Alerte.ap[index.ap[y]:index2.ap[y+1]]%in%0)))
  thresh.ap <- sapply(lgth.ap,min,14)
  tmp$Fermeture.ap[unlist(lapply(1:length(index.ap),function(z) seq(index.ap[z],length=thresh.ap[z])))] <- 1
}
if (length(index.lp)>0) {
  index2.lp <- c(index.lp-1,nrow(tmp))
  lgth.lp <- unlist(lapply(1:length(index.lp),function(y)
sum(tmp$Alerte.lp[index.lp[y]:index2.lp[y+1]]%in%0)))
  thresh.lp <- sapply(lgth.lp,min,14)
  tmp$Fermeture.lp[unlist(lapply(1:length(index.lp),function(z) seq(index.lp[z],length=thresh.lp[z])))] <- 1
}
if (length(index.alp)>0) {
  index2.alp <- c(index.alp-1,nrow(tmp))
  lgth.alp <- unlist(lapply(1:length(index.alp),function(y)
sum(tmp$Alerte.alp[index.alp[y]:index2.alp[y+1]]%in%0)))
  thresh.alp <- sapply(lgth.alp,min,14)
  tmp$Fermeture.alp[unlist(lapply(1:length(index.alp),function(z) seq(index.alp[z],length=thresh.alp[z])))] <- 1
}
return(tmp)
})
TAB <- do.call("rbind.data.frame",TAB2)

```

```
# on observe une phase de fermeture si on passe de 0 à 1 dans le champ 'Fermeture' et qu'on ne change pas de
lieu
TAB$Closure <- -1 #-1 pas de fermeture / 1 fermeture / 0 maintien de fermeture (du à un test positif, ou à une
période de sureté avant réouverture en cours)
TAB$Closure[-1][TAB$Fermeture[-nrow(TAB)]==0 & TAB$Fermeture[-1]==1 & TAB$ZoneCSJ[-
nrow(TAB)]==TAB$ZoneCSJ[-1]] <- 1
TAB$Closure[-1][!is.na(TAB$Total[-1]) & TAB$Fermeture[-nrow(TAB)]==1 & TAB$Fermeture[-1]==1 &
TAB$ZoneCSJ[-nrow(TAB)]==TAB$ZoneCSJ[-1]] <- 0
# TAB$Opening <- -1 #-1 pas d'ouverture / 1 ouverture / 0 ouverture maintenue
# TAB$Opening[-1][TAB$Fermeture[-nrow(TAB)]==1 & TAB$Fermeture[-1]==0 &
TAB$Libelle_Lieu_surveillance[-nrow(TAB)]==TAB$Libelle_Lieu_surveillance[-1]] <- 1
# TAB$Opening[-1][!is.na(TAB$Total[-1]) & TAB$Fermeture[-nrow(TAB)]==0 & TAB$Fermeture[-1]==0 &
TAB$Libelle_Lieu_surveillance[-nrow(TAB)]==TAB$Libelle_Lieu_surveillance[-1]] <- 0
# on réplique pour l'ensemble des champs Fermeture et Ouverture sur les combinaisons de toxines testées
positivement
for (i in c("a","l","p","al","ap","lp","alp")) {
  fldFerm <- paste("Fermeture",i,sep=".")
  TAB$ClosureTMP <- -1 #-1 pas de fermeture / 1 fermeture / 0 maintien de fermeture
  TAB$ClosureTMP[-1][TAB$Fermeture[-nrow(TAB)]==0 & TAB[,fldFerm][-1]==1 & TAB$ZoneCSJ[-
nrow(TAB)]==TAB$ZoneCSJ[-1]] <- 1
  TAB$ClosureTMP[-1][!is.na(TAB$Total[-1]) & TAB$Fermeture[-nrow(TAB)]==1 & TAB[,fldFerm][-1]==1
& TAB$ZoneCSJ[-nrow(TAB)]==TAB$ZoneCSJ[-1]] <- 0
  names(TAB)[names(TAB)%in%"ClosureTMP"] <- paste("Closure",i,sep=".")
}
# exportation
write.table(TAB,file="C:/Users/spare/Desktop/JointureZoneMarine-
ZoneCSJ/calendrierFermetures_Normandie.txt",sep="\t",quote=FALSE,row.names=FALSE)
# calculer par lieu, par mois et par an le nombre total de jours de fermeture, et le nombre d'événements
"Fermeture"
TAB <- read.table("C:/Users/spare/Desktop/JointureZoneMarine-
ZoneCSJ/calendrierFermetures_Normandie.txt",sep="\t",quote="",header=TRUE)
# nombre total de jours de fermeture par lieu, par an, par mois
JoursFermTAB <-
with(TAB,aggregate(list(NbJoursFermeture=Fermeture),list(ZoneCSJ=ZoneCSJ,année=année,mois=mois),sum)
)
dim(JoursFermTAB) ; head(JoursFermTAB)
#nombre total d'événements "fermeture" par lieu, par an, par mois
NbFermTAB <-
with(TAB,aggregate(list(NbFermeture=Closure),list(ZoneCSJ=ZoneCSJ,année=année,mois=mois),function(x)
sum(x%in%1)))
dim(NbFermTAB) ; head(NbFermTAB)
#nombre total d'événements "fermeture maintenue" par lieu, par an, par mois
NbFermMaintTAB <-
with(TAB,aggregate(list(NbFermMainten=Closure),list(ZoneCSJ=ZoneCSJ,année=année,mois=mois),function(
x) sum(x%in%0)))
dim(NbFermMaintTAB) ; head(NbFermMaintTAB)
# on assemble et trie les deux tables
synthTAB <- merge(merge(JoursFermTAB,NbFermTAB,all=TRUE),NbFermMaintTAB,all=TRUE)
for (i in c("a","l","p","al","ap","lp","alp")) {
  fldFerm <- paste("Fermeture",i,sep=".")
  fldClos <- paste("Closure",i,sep=".")
  # nombre total de jours de fermeture par lieu, par an, par mois
  tb1 <-
  with(TAB,aggregate(list(NbJoursFermeture=TAB[,fldFerm]),list(ZoneCSJ=ZoneCSJ,année=année,mois=mois),
sum))
  #nombre total d'événements "fermeture" par lieu, par an, par mois
```

```
tb2 <-
with(TAB,aggregate(list(NbFermeture=TAB[,fldClos]),list(ZoneCSJ=ZoneCSJ,année=année,mois=mois),functi
on(x) sum(x%in%1)))
# nombre total d'événements "fermeture maintenue" par lieu, par an, par mois
tb3 <-
with(TAB,aggregate(list(NbFermMainten=TAB[,fldClos]),list(ZoneCSJ=ZoneCSJ,année=année,mois=mois),fu
nction(x) sum(x%in%0)))
# on assemble et trie les deux tables
synthTB <- merge(merge(tb1,tb2,all=TRUE),tb3,all=TRUE)
names(synthTB)[4:6] <- paste(names(synthTB)[4:6],i,sep=".")
synthTAB <- merge(synthTAB,synthTB,all=TRUE)
}
synthTAB <- synthTAB[order(synthTAB$Mnémonique_Lieu_surveillance,synthTAB$année,synthTAB$mois),]
; rownames(synthTAB) <- 1:nrow(synthTAB)
dim(synthTAB) ; head(synthTAB)
# exportation
write.table(synthTAB,file="C:/Users/spare/Desktop/JointureZoneMarine-
ZoneCSJ/syntheseFermetures_Normandie.txt",sep="\t",quote=FALSE,row.names=FALSE)
# comptabilisation du nombre de fermetures et de fermetures maintenues causées par chaque toxine, par an et par
zone(filtrage sur zone <=063 et année>=2003)
df2 <- TAB
#nombre total de jours de fermeture par an
JoursFermTAB2 <- with(df2,aggregate(list(NbJoursFermeture=Fermeture),list(année=année),sum))
#nombre total d'événements "fermeture" par an
NbFermTAB2 <- with(df2,aggregate(list(NbFermeture=Closure),list(année=année),function(x) sum(x%in%1)))
#nombre total d'événements "fermeture maintenue" par an
NbFermMaintTAB2 <- with(df2,aggregate(list(NbFermMainten=Closure),list(année=année),function(x)
sum(x%in%0)))
# on assemble et trie les deux tables
synthTAB2 <- merge(merge(JoursFermTAB2,NbFermTAB2,all=TRUE),NbFermMaintTAB2,all=TRUE)
for (i in c("a","l","p","al","ap","lp","alp")) {
  fldFerm <- paste("Fermeture",i,sep=".")
  fldClos <- paste("Closure",i,sep=".")
  # nombre total de jours de fermeture par an
  tb1 <- with(df2,aggregate(list(NbJoursFermeture=df2[,fldFerm]),list(année=année),sum))
  #nombre total d'événements "fermeture" par an
  tb2 <- with(df2,aggregate(list(NbFermeture=df2[,fldClos]),list(année=année),function(x) sum(x%in%1)))
  #nombre total d'événements "fermeture maintenue" par an
  tb3 <- with(df2,aggregate(list(NbFermMainten=df2[,fldClos]),list(année=année),function(x) sum(x%in%0)))
  # on assemble et trie les deux tables
  synthTB <- merge(merge(tb1,tb2,all=TRUE),tb3,all=TRUE)
  names(synthTB)[2:4] <- paste(names(synthTB)[2:4],i,sep=".")
  synthTAB2 <- merge(synthTAB2,synthTB,all=TRUE)
}
synthTAB2 <- synthTAB2[order(synthTAB2$année),] ; rownames(synthTAB2) <- 1:nrow(synthTAB2)
#exportation
write.table(synthTAB2,file="C:/Users/spare/Desktop/JointureZoneMarine-
ZoneCSJ/syntheseFermeturesYR_Normandie.txt",sep="\t",quote=FALSE,row.names=FALSE)
```



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Diplôme : Master 2 en Gestion des Pêche et des Ecosystèmes Continentaux et Côtiers<br>Spécialité : Halieutique<br>Spécialisation / option : GEPEC<br>Enseignant référent : Marie LESUEUR et Carole REPARS COLLET |                                                                                                                                                                                 |
| Auteur(s) : Sarra CHENOUF                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                  | Organisme d'accueil : UBO – UMR AMURE<br>Adresse : IUEM Technopôle Brest-Iroise - rue Dumont d'Urville - 29280 Plouzané<br>Maîtres de stage : Pascal RAUX et José PEREZ AGUNDEZ |
| Date de naissance* : 24/11/1991                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                 |
| Nb pages : 39                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Annexe(s) : 12                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                 |
| Année de soutenance : 2018                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                 |
| Titre français : Caractérisation des impacts des efflorescences algales nuisibles en Manche. Application au cas de la coquilles Saint-Jacques<br>Titre anglais : Harmful Algal Blooms impacts over the French Channel area. Application to the Eastern Channel scallop fisheries.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                 |
| Résumé (1600 caractères maximum) :<br><br>Les écosystèmes marins de la Manche sont le support d'activités économiques importantes qui sont menacées par des efflorescences algales nuisibles (HABs). Evènements naturels, ces HABs peuvent libérer des toxines et faire peser un risque sur la santé humaine à travers la consommation de coquillages contaminés. La gestion de ces évènements est difficile et plus réactive que proactive. Ce travail a pour objectif de développer une meilleure compréhension du suivi des HABs et de la gestion de leurs impacts. Pour cela une approche systémique a été mise en œuvre pour appréhender les HABs de façon intégrée, identifier et caractériser leurs impacts et analyser les réponses du système de gestion (observation, surveillance, décision). Le système HABs en Manche a ainsi été construit et structuré selon trois composantes : Ecologie, Activités et Gestion. L'analyse des occurrences de HABs a montré que leur fréquence est en augmentation, notamment <i>Pseudo-nitzschia</i> et <i>Dinophysis</i> , ainsi que leur distribution spatiale. Un protocole d'analyse a été développé pour caractériser et étudier les impacts des HABs sur la pêche de coquilles Saint-Jacques de la Manche Est. Son application souligne que le risque potentiel auquel sont soumis les professionnels dépend de leurs stratégies d'adaptation. Les réponses en termes d'amélioration des systèmes de surveillance par la télédétection (couverture, réactivité et rapidité) ont également montré que les outils de surveillance doivent aussi être adaptés à la gestion et pas seulement aux seuls suivis des occurrences de HABs. |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                 |
| Abstract (1600 caractères maximum) :<br><br>The French Channel marine ecosystems support a number of important economic activities. These activities are under the threat of Harmful Algal Blooms (HABs). Natural events, HABs release some toxins threatening human health through the consumption of contaminated shellfish. HABs' management is difficult and more reactive than proactive. This work aims to develop a better understanding of the HABs monitoring and their impacts. To that purpose, a system approach has been implemented to address the HABs issues in an integrated way, to identify and characterize their impacts and analyse the management system (observation, monitoring, decision). The Channel HABs system has been built and structured according to three components: Ecology, Activities and Management. The analysis of the occurrences of HABs has shown that their frequency is increasing, especially <i>Pseudo-nitzschia</i> and <i>Dinophysis</i> , as well as their spatial distribution. A protocol was developed to characterize and study the impacts of HABs over the Eastern Channel scallop fisheries. Its implementation emphasizes that the potential risk to professionals depends on their coping strategies. The responses in terms of an improved monitoring systems through remote sensing (responsiveness) have also shown that monitoring tools have also to suit to the management and stakeholders needs and not solely to the monitoring of HABs occurrences.                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                 |
| Mots-clés : Efflorescences Algales Nuisibles, Manche, impacts, approche système, analyse spatiale, coquille Saint-Jacques, phycotoxines, gestion<br>Key Words: Harmful Algal Blooms, HABs, Channel, impacts, system approach, scallops, toxins, management                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                 |

\* Elément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires