



HAL
open science

Sentinel-3 products for detecting EUtROphication and Harmful Algal Blooms in the French-English Channel (S-3 EUROHAB). TASK 3. Activity 3.3: Deliverable T3.3.1. Report on the socio-economic impacts of HABs.

Pascal Raux, Jose Perez, Sarra Chenouf

► To cite this version:

Pascal Raux, Jose Perez, Sarra Chenouf. Sentinel-3 products for detecting EUtROphication and Harmful Algal Blooms in the French-English Channel (S-3 EUROHAB). TASK 3. Activity 3.3: Deliverable T3.3.1. Report on the socio-economic impacts of HABs.. AMURE - Aménagement des Usages des Ressources et des Espaces marins et littoraux - Centre de droit et d'économie de la mer; Université de Brest; Ifremer. 2022. hal-04848682

HAL Id: hal-04848682

<https://hal.science/hal-04848682v1>

Submitted on 19 Dec 2024

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

Sentinel-3 products for detecting EUtROphication and Harmful Algal Blooms in the French-English Channel (S-3 EUROHAB).



TASK 3. Activity 3.3: Deliverable T3.3.1. Report on the socio-economic impacts of HABs Rapport sur les impacts socio-économiques des HAB

Pascal Raux¹, Jose Perez², Sarra Chenouf²

¹UMR AMURE, UBO - Université de Brest, 3 rue des Archives CS 93837, F29238 Brest cedex 3, France.

²UMR AMURE, IFREMER – Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, Centre de Bretagne, CS 10070, 29280 Plouzané, France.

Table des matières

Introduction	4
Dimensions socio-économiques des efflorescences algales nuisibles et toxiques (HABs) : au-delà des évaluations des impacts	6
1.1. Revue des évaluations économiques des impacts des HABs	6
1.1. Questionnement autour des évaluations économiques des impacts	10
2. Le besoin d’approches plus holistiques et intégrées : vers un système HABs	13
3. Evaluation des impacts des HABs par la vulnérabilité	16
3.1. Caractérisation des activités et impacts	17
3.2. Analyse des épisodes de toxicité des HABs et des contaminations des coquilles Saint-Jacques	24
3.3. Analyse de la vulnérabilité des navires de pêche à la coquilles Saint-Jacques	29
3.4. Analyse des impacts des HABs sur la productivité	37
3.5. Estimation des coûts de gestion et de surveillance des HABs	37
3.6. Impact sur l’aquaculture et la pêche à pied de loisir	38
Conclusion : vers un système d’observation intégré des HABs.....	39

Liste des illustrations

Figure 1. Impact économique des efflorescences algales nuisibles d'après Sanseverino et al. (2016) et quelques illustrations d'évaluations économiques des impacts sur ces secteurs	7
Figure 2. Pertes économiques générées par les fermetures de pêcheries et affectant de nombreux secteurs de la société (NOAA, 2019)	11
Figure 3. Dynamique et conséquences du report de l'effort de pêche dû aux HABs	12
Figure 4. Cadre logique de la mise en œuvre des interdictions en fonction des espèces et des zones en Manche et en France plus généralement	15
Figure 5. Représentation synthétique des sous-systèmes du système HABs en Manche	16
Figure 6. Distribution par taille des navires de pêche de coquilles Saint-Jacques en Manche-Est.....	18
Figure 7. Production (en valeur) de coquilles Saint-Jacques en Manche-Est par catégorie de navires	19
Figure 8. Evolution hebdomadaire de la composition des débarquements des chalutiers arts dormants	20
Figure 9. Evolution hebdomadaire de la composition des débarquements des chalutiers dragueurs	21
Figure 10. Evolution hebdomadaire de la composition des débarquements des dragueurs exclusifs.....	22
Figure 11. Evolution hebdomadaire de la composition des débarquements des dragueurs polyvalents	23
Figure 12. Processus de l'évaluation des impacts des HABs sur la pêche de coquille Saint-Jacques en Manche-Est	24
Figure 13. Concentration de l'acide okadaïque (AO) responsable des DSP dans la coquille Saint-Jacques par lieu de surveillance en Manche-Est (méthode bioessai : 1987-2009, méthode chimique : à partir de 2010).....	25
Figure 14. Concentration de l'acide domoïque (AD) responsable des ASP dans la coquille Saint-Jacques par lieu de surveillance en Manche-Est.....	26
Figure 15. Concentration des Saxitoxines (STX) responsables des PSP dans la coquille Saint-Jacques par lieu de surveillance en Manche-Est	26
Figure 16. Nombre total de résultats non conformes des analyses de phycotoxines en Manche-Est par espèces (zones confondues)	27
Figure 17. Nombre de résultats non conformes des analyses de phycotoxines dans la coquille Saint-Jacques en Manche-Est par famille de toxines (zones confondues).....	28
Figure 18. Représentation de l'indicateur caractérisant l'exposition des flottilles de pêche de coquilles Saint-Jacques au risque de HABs pour les saisons 2012-2013, 2013-2014 et 2014-2015	30
Figure 19. Représentation de l'indicateur de vulnérabilité des flottilles de pêche face aux risques des HABs.....	33
Figure 20. Représentation des indicateurs de sensibilité, d'exposition, de capacité d'adaptation et de vulnérabilité des flottilles de taille 1 (<15m) par zone et par semaine pour la saison 2012-2013.....	35
Figure 21. Représentation spatiale des indicateurs de sensibilité, d'exposition, de capacité d'adaptation et de vulnérabilité des flottilles de taille 1 (<15m). Exemple de la semaine 50 de la saison 2012-2013.....	36

Liste des tableaux

Tableau 1. <i>Inventaire par pays des principales études d'évaluation des impacts économiques liés aux HABs</i>	8
Tableau 2. 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 coquille Saint-Jacques dans les secteurs « Baie de Seine » et « Hors-Baie de Seine », campagne 2017 - 2018.	19
Tableau 3. Les indicateurs permettant de calculer les composantes de la vulnérabilité	29
Tableau 4. Coûts de gestion et de suivi associés aux réseaux de suivi et d'observation des phytoplanctons et toxines marines (2019).....	38

Introduction

Causées par une croissance excessive d'algues qui libèrent des toxines dans l'eau, les efflorescences algales nuisibles (HABs ou Harmful Algal Blooms en anglais) impactent de façon importante les activités et usages dépendant de l'exploitation de ressources marines et côtières : pêche, aquaculture, activités récréatives. Parmi ces impacts, la contamination des mollusques bivalves, et en particulier celle des produits destinés à la consommation humaine, occupe une place importante. En l'absence de mécanismes de prédiction fiables, la télédétection, et en particulier les apports du satellite européen *Copernicus Sentinel 3*, peut contribuer à une meilleure gestion des risques liés aux impacts des HABs en délivrant une information plus précoce et plus précise. La connaissance de ces impacts et de leurs mécanismes est donc une condition préalable à l'évaluation des bénéfices que pourrait apporter la mise en œuvre d'un système d'alerte plus précoce et accessible à tous (outil d'alerte en ligne).

Un travail en amont a été conduit sur la perception des efflorescences algales nuisibles et toxiques et les exigences pour cet outil d'alerte en ligne (Livrable T3.2.1, Raux *et al.*, 2019). A cette occasion, une cartographie des impacts liés aux HABs avait été réalisée. Cette cartographie est également la trame de la diffusion des impacts au sein de l'économie et des activités associées. L'évaluation monétaire de ces impacts est souvent la posture choisie pour les appréhender en termes économiques et les traduire en termes de coûts, que ce soit par les approches de l'économie de l'environnement (évaluations des biens et services environnementaux non marchands) ou de l'économie industrielle (analyse de filières).

A l'échelle de l'espace Manche il n'existe pas d'évaluation des coûts liés aux HABs. L'inventaire et la revue des évaluations existantes révèlent une diversité importante en termes de zones géographiques (soit très locales, soit très agrégées), plutôt ciblées sur un taxon particulier et des estimations ponctuelles. Il par exemple été estimé que la pêcherie de moules de l'Escaut oriental (Pays-Bas) a subi des pertes liées aux événements HABs en 2011 pour un montant variant entre 22 et 38 millions d'euros. Hoagland et Scatasta (2006) ont estimé que sur la période 1989-1998, les impacts économiques des HABs pour l'Union européenne étaient d'environ 918 millions d'euros, dont 720 millions d'euros pour les seules activités récréatives et le tourisme et 166 millions d'euros pour la pêche commerciale. Pour cette même période, les coûts liés à la gestion et au suivi des HABs sont estimés à environ 20 millions d'euros par an pour l'UE. Mais la plupart des évaluations sont souvent incomplètes et n'intègrent pas ces coûts de gestion et de suivi, car ils sont disséminés dans un nombre important d'institutions qui peuvent varier selon les territoires.

Cependant, les limites attachées à ce type d'évaluation sont liées au fait qu'elles sont souvent basées sur des pertes de revenu via l'application de multiplicateurs de pertes de chiffres d'affaires. La réalité est plus complexe. Ainsi, la complexité de la dynamique écologique des efflorescences algales et la compréhension encore incomplète de cette dynamique se diffusent tout autant dans la dynamique économique des impacts. Le livrable T3.2.1 (Raux *et al.*, 2019) a rendu compte de cette complexité et des difficultés de gestion de ces efflorescences algales nuisibles et toxiques. Au-delà des ordres de grandeurs et de la sensibilisation qu'ils induisent quant à l'importance économique de ces événements, ces évaluations apportent finalement assez peu de chose en termes de gouvernance des événements HABs et de soutien à leur gestion, tant pour les activités impactées que pour la prise de décision. Les bénéfices entraperçus d'un outil d'alerte en ligne positionne la question non plus sur la seule évaluation des impacts des

HABs, mais également sur leur gestion en intégrant les dimensions spatiales et temporelles. Ceci a conduit à repenser la question de l'évaluation économique des impacts liés aux HABs par la définition et la mise en œuvre d'une approche système pour capter les différentes dimensions de ces impacts (individuelles, collectives, temporelles, spatiales) et nourrir la prise de décision. Cette approche résulte d'abord en une analyse de risque et de vulnérabilité pour les activités impactées et la mise à disposition au sein de l'outil d'alerte d'un index de vulnérabilité spatialisé pour la population des pêcheurs de la Manche ciblant la coquille Saint-Jacques, principale activité impactée par les HABs. Une analyse des pertes de production et des coûts associés aux stratégies d'adaptation ainsi qu'une estimation des coûts de gestion et de surveillance viennent ensuite compléter l'analyse de vulnérabilité et affiner l'évaluation économique des impacts des HABs. Cette analyse est nourrie par une enquête, des entretiens et des ateliers avec les parties prenantes impactées. L'approche peut être répétée et déclinée pour toutes les autres espèces et tous les autres territoires.

Sur l'espace Manche, la pêcherie de coquilles Saint-Jacques n'est pas la seule activité impactée par les HABs. D'autres pêcheries le sont également, que ce soit via d'autres espèces (pétoncles, moules, huitres, crabes, certains poissons) ou via les pratiques de pêche (colmatage d'engins de pêche, poisson gluant). Au-delà des pêcheries, l'aquaculture et en particulier la conchyliculture sont également sous la menace des HABs, même si en Manche celle-ci reste encore faiblement perçue par ces activités. A cela viennent s'ajouter les impacts sur les activités récréatives, la biodiversité (mortalités chez les espèces se nourrissant d'espèces contaminées tels que les oiseaux marins par la consommation d'anchois contaminés par l'acide domoïque), la santé humaine et les coûts liés à la gestion des HABs (Figure 1). L'ensemble de ces impacts a été préalablement identifié sur l'espace France-Manche dans le livrable T3.2.1 du projet (Raux *et al.*, 2019). La prise en compte de ces impacts se fera à l'étape suivante du projet, au travers d'un modèle d'économie régionale qui évaluera également les bénéfices qui pourront être retirés de l'usage de l'outil d'alerte en ligne par une approche coût efficacité. Ce modèle d'économie régionale permettra ainsi de capter les effets directs, indirects et induits des changements liés à l'outil d'alerte. Ces changements seront évalués sur la base de scénarios co-construits avec les parties prenantes lors d'ateliers à venir (été 2021). Enfin, au-delà de la seule gestion des HABs, l'outil d'alerte en ligne permettra la mise à disposition d'informations contribuant à une meilleure compréhension des processus HABs, d'informations complémentaires sur l'eutrophisation, mais aussi de paramètres permettant d'améliorer l'efficacité des activités de pêche et de conchyliculture (Livrable T2.2.1., Paul *et al.*, 2019).

Dimensions socio-économiques des efflorescences algales nuisibles et toxiques (HABs) : au-delà des évaluations des impacts

1.1. Revue des évaluations économiques des impacts des HABs

Le livrable T3.2.1 portant sur la perception des HABs et des exigences induites pour le design et la mise en œuvre de l’outil d’alerte en ligne produit par le projet S-3 EUROHAB (Raux *et al.*, 2019) avait déjà caractérisé les impacts et les enjeux liés aux HABs, ainsi que le système de gestion et de surveillance sur l’espace France-Manche. Les quatre grands secteurs impactés sont ceux de la pêche professionnelle, du tourisme et des activités récréatives, de la santé et de la gestion et surveillance tels que décrits par Sanseverino *et al.* (2016) à la Figure 1, auxquels il convient de rajouter les impacts sur les écosystèmes en termes de biodiversité et de population animale. De nombreuses études et programmes de recherche ont cherché à quantifier monétairement ces impacts, regroupant parfois HABs marins et HABs continentaux (rivières, lacs, réservoirs) étendus au cas des cyanobactéries.

La difficulté des évaluations est bien sûre liée à la complexité et à la difficile prévision, voire anticipation, des efflorescences algales nuisibles et toxiques, ainsi qu’à la variabilité de leur étendue spatiale et temporelle. Il faut ainsi attendre des efflorescences longues et répétées pour observer de telles études qui se prêtent moins bien aux épisodes parcellaires répétées qui peuvent cependant générer des perturbations et impacts tout aussi importants sur de longues périodes. Il n’existe quasiment aucune évaluation globale et précise (Kudela *et al.*, 2015). Selon Berdalet *et al.* (2016), la complexité de l’évaluation et les incertitudes des estimations sont liées à la nature épisodique imprévisible des occurrences de HABs et leur vaste distribution géographique, la grande variabilité des effets engendrés, et la diversité des réponses individuelles et collectives des acteurs affectés par ces phénomènes (stratégies de gestion et stratégies d’adaptation).

La plupart des études d’évaluation portent donc souvent sur un secteur exclusif et plus rares sont les études intégrées. L’épisode toxique de *Pseudo-nitzschia* sur la côte ouest des États-Unis (Etats de Californie, Oregon et Washington) en 2015 a été suffisamment marquant pour que la NOAA procède à plusieurs études sur les différentes dimensions (écologiques, économiques, sociales) de cet évènement et pose la question d’un système d’alerte plus précoce pour *Pseudo-nitzschia* (Ritzman *et al.*, 2018; Moore *et al.*, 2019; Ekstrom *et al.*, 2020; Holland & Leonard, 2020; Moore *et al.*, 2020; Trainer *et al.*, 2020). Cette efflorescence toxique a impacté la pêche au crabe de Dungeness (*Metacarcinus magister*) et au couteau, générant 97,5 millions de dollars de pertes en termes de débarquements de crabes comparé à 2014. Les pertes associées pour les communautés côtières de Washington ont été estimées à 40 millions de dollars en dépenses touristiques (Holland & Leonard, 2020). Les évaluations sectorielles sont ainsi, mais plus rarement, complétées par des évaluations de pertes d’aménités, en particulier pour le secteur récréatif, via les évaluations monétaires des biens et services non marchands. Le Tableau 1 recense les principales études d’évaluation des impacts économiques liés aux HABs par pays ou régions. Ces études soulignent des montants et agrégats importants, mais aussi assez disparates.

- Impacts sur la santé humaine

Santé : Maladies d'origine marine aux États-Unis : **900 millions de dollars**. Sur ce montant, **350 millions de dollars** sont liés aux maladies transmises par les fruits de mer en raison des agents pathogènes et des toxines marines (Ralston 2011).

Santé : Les effets économiques des HAB aux États-Unis : **20 millions de dollars** (Hoagland 2002)

- Impacts sur la pêche et l'aquaculture

Pêche : The Welfare Effects of Pfiesteria-Related Fish Kills : Une analyse du comportement contingent des consommateurs de fruits de mer (région Mid-Atlantic, USA) **100 millions de dollars par mois** (Parsons 2006)

- Coûts de gestion et de surveillance des HAB

Gestion : Surveillance et stratégies de gestion des HAB (Anderson 2001)

Norvège 300 000
Danemark 500 000
Portugal 500 000
France \$800,000
Espagne(Galice) \$1114,000

Gestion : Coût des efflorescences algales en Australie **8,7 millions \$** (Atech 2000)



- Impacts sur le tourisme et les activités récréatives

Tourisme : Les effets économiques des HAB aux États-Unis : **7 millions de dollars** (Hoagland 2002)

Tourisme : HABs du nord-ouest de la Floride, entreprises côtières : **6,5 millions de dollars** (Larkin 2007)

Figure 1. Impact économique des efflorescences algales nuisibles d'après Sanseverino et al. (2016) et quelques illustrations d'évaluations économiques des impacts sur ces secteurs

Tableau 1. Inventaire par pays des principales études d'évaluation des impacts économiques liés aux HABs

Pays	Années	Coûts annuels	Secteurs	Références	Méthode d'estimation
Etats Unis	1987-1992	± 24 912 544 US\$	Santé	(Anderson <i>et al.</i> , 2000)	Méthode basée sur l'estimation des pertes de revenus bruts en utilisant des données d'enquêtes. Les auteurs ont jugé que les coûts totaux calculés sont sous-estimés en raison du manque d'information sur certains impacts et la difficulté de les classer.
		± 18 407 948 US\$	Pêche		
		± 6 630 415 US\$	Tourisme et activités récréatives		
		± 2 088 885 US\$	Surveillance et gestion		
		± 49 329 845 US\$	Total		
	50 millions US\$	Total	(Hoagland <i>et al.</i> , 2002)	Estimation basée sur une combinaison des évaluations des effets économiques dans les domaines de la santé publique, de la pêche commerciale, des loisirs et du tourisme, ainsi que de la surveillance et de la gestion.	
	100 millions US\$	Total	(Hoagland & Scatasta, 2006)		
	1998-2005	868 US\$ à 3 734 US\$ (13,7 % et 15,3 %)	Tourisme (restaurants)	(Morgan <i>et al.</i> , 2009)	Analyse de régression et estimation des pertes de vente des restaurants côtiers lors d'un épisode de toxicité de <i>Karenia brevis</i> en utilisant une série de données historiques des ventes journalières des restaurants et des données sur les conditions environnementales.
	2000	15,98 à 18,45 millions US\$ (pour 4 mois d'efflorescence)	Total	(Evans & Jones, 2001)	Modèle input-output.
	2001-2006	0,5 à 4 millions US\$	Santé	(Hoagland <i>et al.</i> , 2009)	Estimation des coûts des services médicaux et de la valeur de la perte de productivité des personnes malades en utilisant les données de fréquences de visites à l'hôpital lors d'un épisode d'efflorescence de <i>Karenia brevis</i> (maladie respiratoires)
	2008	339 emplois et 10,57 millions US\$ (pour l'état de Washington)	Tourisme et activités récréatives	(Dyson & Huppert, 2010)	Combinaison entre les résultats des enquêtes auprès des pêcheurs de loisir avec un modèle input-output afin d'estimer l'impact des fermetures de la pêche (palourde) dues aux HABs.
	2010	Un consentement à payer de : - 14,3 millions US\$ (prévention), - 30,5 millions US\$ (contrôle après efflorescence), - 13,4 millions US\$ (mitigation)	Total	(Lucas <i>et al.</i> , 2010)	Modèle probabiliste des préférences des résidents en terme de stratégies de gestion des HABs (prévention avant la prolifération, contrôle après la prolifération ou mitigation après la prolifération), à partir des données d'enquêtes et des estimations du consentement à payer pour chaque stratégie de gestion.
2010	Pas d'évaluation chiffrée	Tourisme et activités récréatives	(Morgan <i>et al.</i> , 2010)	Compréhension des impacts des HABs sur les activités récréatives et sur le comportement des populations (par type d'activité) à l'aide d'un modèle des choix discret basé sur des données d'enquêtes.	
2010	100 000 US\$	Tourisme et activités récréatives	(Nierenberg <i>et al.</i> , 2010)	Changements dans les habitudes de travail des sauveteurs en relation avec la marée rouge de Floride	

					(absentéisme et présentéisme et risques accrus pour les baigneurs).
	2011	900 millions US\$ (dont 350 million US\$ sont liés aux toxines et pathogènes marins, 300 millions US\$ sont dus aux maladies d'origine inconnue, 30 millions US\$ aux contaminations par Vibrio et 300 millions US\$ sont liés aux maladies gastro-intestinales)	Santé	(Ralston <i>et al.</i> , 2011) <i>in</i> (Adams & Larkin, 2013)	Modèle de coût des problèmes de santé liés aux toxines et agents pathogènes d'origine marine basé sur les données de surveillance des maladies. Les coûts sont sous-estimés par rapport aux coûts réels d'après l'auteur. Ces coûts concernent plusieurs contaminants et non seulement les phycotoxines.
	Saison 2011-2012	8515,67 US\$ par navire	Ostréiculture	Cummins, 2012 <i>in</i> (Adams & Larkin, 2013)	Calcule de la perte économique potentielle pour l'industrie ostréicole du comté de Calhoun, Texas, due aux fermetures des zones de récolte locales liées aux HAB pour la saison 2011-2012. La perte économique a été calculée au premier niveau d'impact : les sacs d'huîtres, et leur valeur, débarqués sur les quais locaux. Ces résultats ont été estimés en utilisant une moyenne du nombre et de la valeur des débarquements commerciaux des cinq dernières années et du nombre de licences de bateaux ostréicoles lors de la saison ostréicole 2010-2011. Valeur des débarquements commerciaux d'huîtres à quai.
Canada	1995	670 000 \$	Santé	(Todd, 1995) <i>in</i> (Adams & Larkin, 2013)	Estimation des coûts médicaux et de la perte de productivité.
Europe		> 880 millions US\$		(Bernard <i>et al.</i> , 2014)	
	2000	0,12 millions €	Santé	(Anderson <i>et al.</i> , 2000)	$\Delta W = \Delta PS + \Delta CS$ (l'effet total sur le bien-être ou variation de bien-être est la somme des changements dans le surplus du producteur et dans le surplus du consommateur).
		158 millions €	Pêche		
		687 millions €	Tourisme et activités récréatives		
		19 millions €	Surveillance et gestion		
		846 millions €	Total		
2003	> 800 millions €	Pêche & aquaculture	Scatasta <i>et al.</i> , 2003 <i>in</i> (Bernard <i>et al.</i> , 2014)		
2006	1 milliard (prix US\$ 2015)	Total	(Hoagland & Scatasta, 2006)	L'estimation européenne a été largement influencée par les pertes estimées pour le tourisme côtier, qui est principalement affecté par les HABs nuisibles mais pas nécessairement toxiques.	
Ecosse	2009-2018	Un changement de 1 % dans la production de phycotoxines réduit la production de coquillages de 0,66 %, avec une variation négative annuelle moyenne de la production de 15 % (1	Conchyliculture	(Martino <i>et al.</i> , 2020)	Fonction de production couplée à un modèle multivarié de séries chronologiques.

		080 tonnes) et une perte économique (chiffre d'affaires) de 1,37 million £ par an (en monnaie de 2015) sur un chiffre d'affaires annuel national de l'industrie de ~ 12 millions £.			
Bulgarie	2009	Consentement à payer de 4,60 € à 17,00 € par individu (en fonction du niveau d'effet sur la visibilité si elle est faible ou forte)	Tourisme et activités récréatives	(Taylor & Longo, 2009)	Analyse conjointe basée sur les choix (consentement à payer et probabilité que les résidents soutiennent des scénarios politiques de réduction de la durée des efflorescences) à partir de questionnaires.
Asie		> 1 milliard US\$		(Bernard <i>et al.</i> , 2014)	
Japon		> 1 milliard US\$	Pêche et aquaculture	(Kim, 2006)	Perte de production.
Corée, Japon et Chine	2006-2012	± 94 millions US\$	Pêche et aquaculture	(Trainer & Yoshida, 2014)	Perte de revenus bruts (d'après (Berdalet <i>et al.</i> 2016) ces estimations sont considérées comme des surestimations des pertes économiques réelles car elles ne tiennent pas compte des coûts évités liés à l'absence de pêche).

Si la plupart des études d'évaluation des impacts économiques liés aux HABs ont pour objectif d'éclairer les décisions et politiques pour une meilleure gestion de ces événements et en atténuer les impacts (van den Bergh *et al.*, 2002; Lewitus *et al.*, 2012), ces évaluations posent cependant un certain nombre de questions au regard de ces enjeux de gestion.

1.1. Questionnement autour des évaluations économiques des impacts

Les évaluations économiques des efflorescences algales nuisibles et toxiques (HABs), si elles sont variées et reflètent la diversité des méthodes d'évaluation (Tableau 1), ont quasiment toutes pour objectif de délivrer un agrégat monétaire traduisant le cumul économique des impacts. Si de prime abord elles sont souvent utilisées comme révélateur de l'importance des impacts et la sensibilisation des décideurs et du public à cette importance, elles peuvent parfois tomber dans un cercle de surenchères trop déconnecté de la chaîne réelle des impacts et des dynamiques à l'œuvre (pas ou peu de prise en compte d'effets retours tels que les allègements de l'effort de pêche lors de fermetures de zones de production).

Les coûts sont souvent exprimés ou évalués à partir d'un pourcentage du chiffre d'affaires (non réalisé) qui ne reflète pas la diversité des comportements d'adaptation et d'atténuation, individuels ou collectifs (report vers d'autres activités, lieux ou espèces). Un chiffre d'affaires non réalisé n'est par ailleurs pas toujours synonyme de pertes, les coûts d'exploitation n'étant pas non plus réalisés et la non commercialisation de produits ne signifiant pas toujours leur perte mais aussi leur report. Il est également admis par la littérature que ces comportements d'adaptation, malgré leurs coûts plus ou moins importants, ont une certaine contribution (à court ou à long terme) à la diminution des pertes économiques liés aux HABs, ce qui induit une surestimation des coûts dans certaines études (Anderson *et al.*, 2000 ; Pettersson & Pozdnyakov, 2013 ; Berdalet *et al.*, 2016).

Par ailleurs, les estimations d'impacts sont parfois des agrégats de différentes valeurs provenant de différentes méthodes d'évaluation. Ces agrégations sont sujettes à caution car les estimations issues des évaluations monétaires du non marchand n'ont pas de signification en valeur absolue et des valeurs issues de marchés de substitution ne peuvent être agrégées à des valeur de marché. Ces valeurs sont cependant utiles et précieuses en termes d'analyse de sensibilité et de proxy d'attachement à l'environnement.

Les évaluations économiques sont souvent incomplètes en raison du manque d'informations détaillées sur les activités humaines, notamment en ce qui concerne les activités récréatives. Nombre d'évaluations sectorielles ne prennent pas en compte les effets en cascade sur d'autres secteurs (effets indirects et induits) tels qu'illustrés à la Figure 2 (Bauer *et al.*, 2010 ; Berdalet *et al.*, 2016). Plus rares et plus récentes sont les études qui ont recours à des modèles d'économie régionale de type Input/Output régionalisés (Evans & Jones, 2001 ; Dyson & Huppert, 2010 ; Trainer, 2020). L'intégration des autres secteurs impactés et l'évaluation de ces impacts sur l'espace Manche seront réalisées à l'étape suivante du projet par la mise en œuvre de ce type de modèle régionalisé et au regard des apports de l'outil d'alerte en ligne en termes de stratégies d'adaptation et de gestion des évènements HABs (analyse coût efficacité).



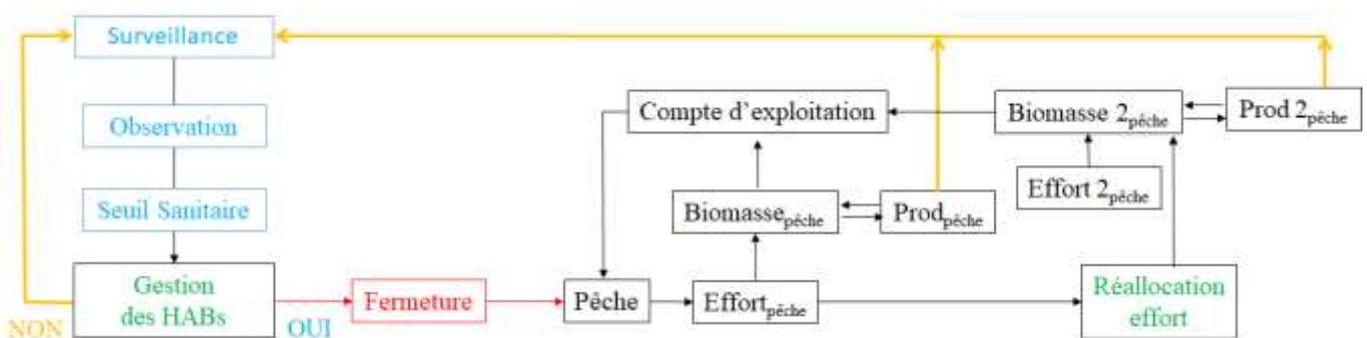
Figure 2. Pertes économiques générées par les fermetures de pêcheries et affectant de nombreux secteurs de la société (NOAA, 2019)

Les agrégats d'une évaluation globale nient souvent l'hétérogénéité des individus et des entreprises impactés par les HABs. Cela traduit la complexité de tenir compte de cette hétérogénéité dans une évaluation globale. Il existe ainsi des sensibilités différentes aux HABs, des capacités d'adaptation et des stratégies d'adaptation différentes et donc des degrés de résilience différents qui peuvent se traduire par des profils de vulnérabilité différents. L'étude réalisée par Jardine *et al.* (2020) sur l'impact des fermetures liées aux phycotoxines de *Pseudo-nitzschia* sur la pêche de Crabe de Dungeness a démontré cette hétérogénéité de sensibilité et de vulnérabilité face aux HABs, et a souligné le rôle de la variabilité des stratégies d'adaptation et des comportements des communautés de pêcheurs sur l'hétérogénéité des impacts subits. Les agrégats monétaires renseignent alors peu sur les stratégies d'adaptation et

délivrent un état à un moment donné qui ne permet pas l'intégration de processus dynamiques utiles à la prise de décision. Il est ainsi nécessaire de prendre en compte les mécanismes de rétroaction et les dynamiques à l'œuvre lors d'événements HABs et de leur gestion :

- Stratégies d'adaptation (actions individuelles et collectives)
- Changements dans la réglementation
- Rétroactions positives et négatives...

La Figure 3 illustre la prise en compte de la dynamique HABs dans l'exploitation d'une ressource halieutique et son potentiel en terme de régulateur de la pêche. En effet, au stade adulte les mollusques bivalves sont rarement affectés par les phycotoxines, à l'inverse des juvéniles pouvant souffrir de surmortalités. Un effet positif des HABs sur le secteur de la pêche a ainsi été souligné par plusieurs études (Foucher, 2013 ; Berdalet *et al.*, 2016). Il s'agit dans ce cas d'une amélioration de l'état des stocks de biomasse pour certaines espèces et la production d'un effet réserve lié aux fermetures et aux interdictions d'accès aux zones de production en raison des toxicités supérieures aux seuils réglementaires de sécurité sanitaire (exemple de la zone de pêche n°5 de coquille Saint-Jacques en Manche Est lors de la saison 2013-2014). Selon la durée des fermetures, le surplus d'abondance et/ou de tailles premium des produits ont aussi un impact sur les revenus des pêcheurs. Les HABs peuvent dès lors agir comme un régulateur de la pêche en agissant à la fois sur la disponibilité et l'abondance de ressources, mais aussi comme un régulateur des marchés en soutenant les prix s'il existe des alternatives de report partiel de l'activité de pêche sur d'autres zones. En fonction de la durée des interdictions d'accès et de commercialisation, mais aussi de la période à laquelle ils surviennent, ces effets indirects des HABs peuvent avoir des impacts positifs (régulateur : soutien des prix, taille premium) comme négatifs (trop forte abondance sur les marchés en réouverture, pertes de revenus en l'absence de report possible de l'effort de pêche sur d'autres zones). Il existe dès lors des points de bascule et de rupture difficiles à identifier en l'absence d'approche intégrée prenant en compte les effets feedbacks sur les activités, la ressource ou les marchés.



Les HABs comme un des régulateurs de la pêche de la coquille St-Jacques?



Figure 3. Dynamique et conséquences du report de l'effort de pêche dû aux HABs

La prise en compte de l'ensemble de ces informations pour une meilleure gouvernance des HABs et le difficile usage des agrégats pour la prise de décision et la gestion des efflorescences conduisent de plus en plus à la description de ces événements sous la forme d'histoires type ou de cartes narratives (NOAA, 2019) pour une meilleure compréhension de ces événements et de leurs mécanismes d'impact. Ces descriptions sous une forme plus qualitative ponctuée de faits marquants et ponctuellement illustrée par des informations quantitatives (pertes de production, d'emplois, coûts de nettoyage, subventions, mesures de gestion, etc.) permettent de décrire la dynamique de l'impact et ses conséquences en termes de gestion sur le plus long-terme.

Par exemple et plus localement sur l'espace France-Manche, les échanges avec les acteurs de la pêche au pétoncle blanc en Manche Ouest ont pu mettre en évidence l'impact monétaire direct d'une contamination liée à l'acide okadaïque (*Dinophysis*) :

« Le 17 juillet 2019 un prélèvement a été réalisé en Manche Ouest sur le pétoncle. Le résultat supérieur au seuil a conduit à un arrêté de fermeture et d'interdiction de pêche sur la zone dite des Hanois en Manche Ouest pris le 25 juillet. Entre le 17 et le 25 juillet, 3 navires adhérents livrant du pétoncle à l'outil de transformation Granvilmer ont réalisé 3 sorties de pêche de pétoncles. Les produits ont été transformés par Granvilmer et ont été considérés impropres à la consommation le 25 juillet.

Il en a résulté la destruction de 40 tonnes de produits finis, et le préjudice financier suivant :

- *Valeur marchande des produits finis à détruire / manque à gagner pour Granvilmer = 140 k€ ;*
- *Frais de stockage et de destruction = 10 k€*
- *Perte d'exploitation de 80 k€ pour les 3 navires dont les produits ont été détruits. »*

« Nous nous interrogeons sur la possibilité d'adapter / utiliser votre outil comme outil d'alerte sanitaire interne à la profession. Lorsque les indicateurs indiquent une occurrence élevée de risque toxine en temps réel, Granvilmer aurait la possibilité d'anticiper un probable arrêté de fermeture et un rappel des produits en procédant à un décorticage sanitaire du pétoncle. »

Enfin d'autres dimensions liées aux impacts des HABs sont encore peu évaluées. A côté des pertes économiques liées à la perte de débarquements de poissons ou de revenus touristiques, il existe d'autres impacts tels que l'insécurité alimentaire due à la perte d'activités de subsistance, la perturbation des pratiques culturelles et la perte d'identité communautaire et d'interactions sociales liées à l'utilisation des ressources côtières (Moore *et al.*, 2019). Le projet S-3 EUROHABs a un cadre d'évaluation plus étroit puisqu'il se concentre plus sur les activités primaires et les bénéfices potentiels issus de la mise en œuvre d'un système d'alerte en ligne auprès des parties prenantes. Cependant, si l'outil d'alerte en ligne peut influencer ces dimensions, elles seront alors intégrées au sein du modèle d'économie régionale.

2. Le besoin d'approches plus holistiques et intégrées : vers un système HABs

Dans la littérature, les efflorescences algales nuisibles (HABs) sont systématiquement perçues comme des micro-organismes qui appauvrissent les stocks de poissons, détruisent les

exploitations piscicoles et provoquent des maladies et des décès tant chez les humains que chez les mammifères marins (Lassus *et al.*, 2016). Cette représentation très forte et négative peut être affinée par une approche plus intégrée et holistique des HABs et de leurs impacts, qui permet de souligner des caractéristiques moins linéaires et des effets parfois inattendus sur les activités, plaidant pour une approche systémique des problématiques HABs.

Sur l'espace Manche et la pêcherie de coquilles Saint-Jacques en Manche Est, la mise en œuvre d'une telle approche a ainsi permis de mettre en évidence des effets positifs selon les périodes, la position et la durée des événements HABs. Les HABs peuvent ainsi jouer le rôle de régulateurs de la pêcherie en évitant la surexploitation de stocks (Figure 3). Si les efflorescences contribuent à une chute des captures, elles peuvent également soutenir les prix sur les marchés en régulant l'offre et éviter des surproductions ponctuelles et des chutes de prix comme celles qui ont été observées à la suite des recrutements importants de coquilles Saint-Jacques en Manche ces deux dernières années. La réouverture de zones fermées pendant plusieurs semaines peut également générer une offre de produits plus importants en termes de tailles et bénéficier de prix premium. Cette observation liée aux HABs a ainsi été reprise en termes de mesures de gestion, en l'absence de HABs, afin de retrouver cet effet prix/taille/quantité observé après des épisodes de contaminations. Cela n'est évidemment le cas que lorsqu'un report de l'effort de pêche est possible vers d'autres zones de production ou que la durée des fermetures imposées pour cause de contamination ne perdure pas trop. Dans le cas de contaminations étendues tant spatialement qu'en durée (Rade de Brest par exemple sur la période 2014-2015) l'effet régulateur disparaît et l'impact des contaminations est alors destructeur pour les flottilles concernées (disparition de plus de la moitié de la flottille coquillère en Rade de Brest). Enfin le report de l'effort de pêche vers une autre espèce en cas de fermeture pour contamination peut aussi générer des effets induits négatifs au travers d'une surexploitation de cette espèce et générer des effets en cascade sur les ressources exploitées, voire des conflits d'usages.

Une approche holistique et intégrée permet de révéler les effets induits liés aux efflorescences algales nuisibles et toxiques. Coupler une modélisation bio-économique des pêcheries aux événements liés aux HABs pourrait ainsi permettre d'identifier les seuils de durée et d'étendue des fermetures à partir desquels les HABs peuvent agir comme régulateurs ou non. La complexité de la dynamique des efflorescences algales se transmet aux mesures de gestion (Figure 4) et aux stratégies d'adaptation. L'approche système est alors pertinente en essayant de garder aussi simple que possible les relations et dynamiques entre processus.

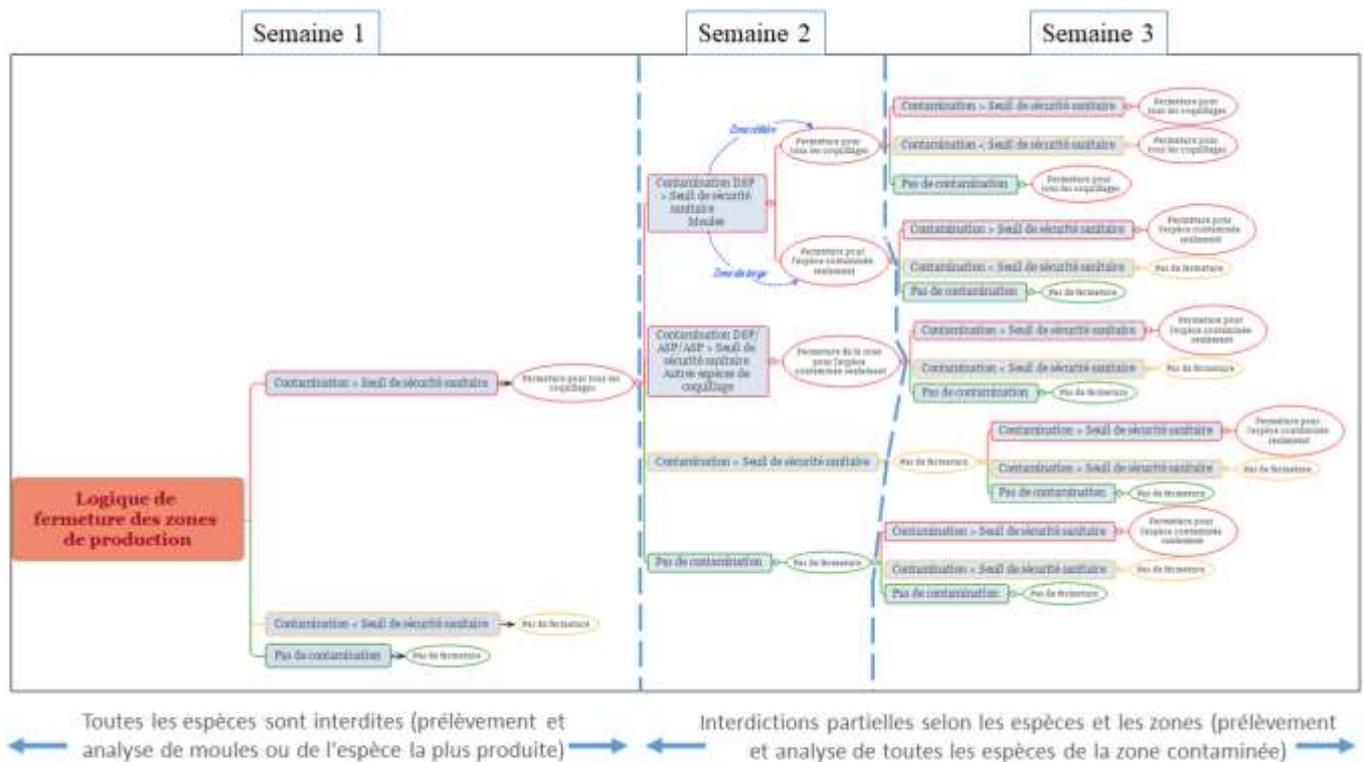


Figure 4. Cadre logique de la mise en œuvre des interdictions en fonction des espèces et des zones en Manche et en France plus généralement

Plus généralement une telle approche permet de :

- Reformuler collectivement la question (obtenir une compréhension commune et partagée de la question à traiter).
- Atténuer les biais de développement potentiels ou les effets négatifs de l'innovation technologique (outil d'alerte plus précoce).
- Identifier les processus inattendus (grâce aux propriétés émergentes des systèmes) :
 - o Les HABs comme régulateurs ou destructeurs de l'activité économique
 - o Les changements dans les pratiques (calendrier des activités...)
 - o Les effets en cascade sur d'autres stocks en raison de la réallocation de l'effort de pêche (surexploitation et épuisement des stocks)
 - o Les effets en cascades sur les autres secteurs économiques (effets indirects et induits)
 - o Les effets d'attractivité (e.g. tourisme et observation des mucilages de *Phaeocystis* comme une dimension paysagère supplémentaire).

Outre l'intérêt de construire une approche systémique pour mieux prendre en compte cette complexité, l'approche système permet également de croiser les dimensions spatiales et temporelles des impacts liés aux HABs. Si la littérature souligne le nombre important d'études portant sur la dimension spatiale ou temporelle, elle souligne également le manque de croisement de ces dimensions comme étant une lacune importante à l'évaluation de ces impacts (Adams & Larkin, 2013). Elle permet dès lors d'aborder la dimension gouvernance des HABs par l'analyse d'un sous-système dédié et en lien avec les sous-systèmes écologique et socio-économique (Figure 5). L'analyse des impacts liés aux HABs reprend alors tout son sens dans cette dimension gouvernance qui sous-tend la prise de décision et les capacités d'adaptation.

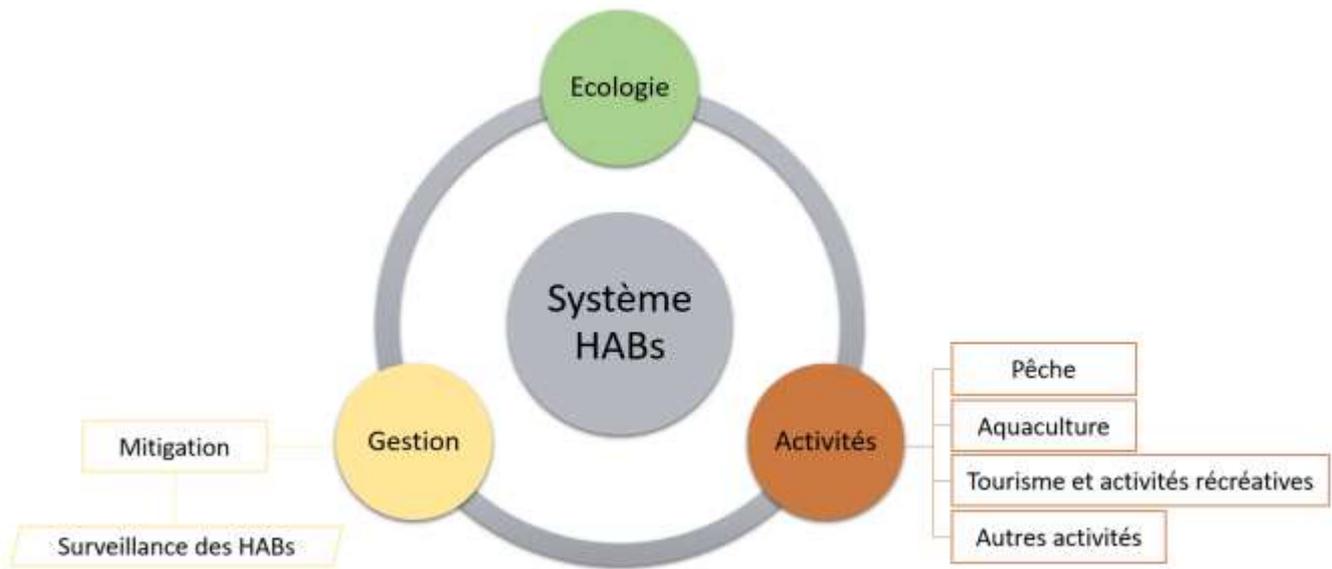


Figure 5. Représentation synthétique des sous-systèmes du système HABs en Manche

Ce système HABs a été détaillé dans le mémoire de fin d'études d'ingénieure de Sarra Chenouf financé par le projet S-3 EUROHABs (Chenouf, 2018).

3. Evaluation des impacts des HABs par la vulnérabilité

L'objectif d'analyse de la gouvernance des HABs induit une approche particulière pour l'étude des impacts liés aux HABs afin que ceux-ci puissent servir et éclairer la prise de décision. Délaissant peu à peu des évaluations économiques par agrégats qui n'apportent finalement que peu de choses à la décision, les approches d'évaluations des impacts explorent des voies un peu plus au service de la gestion et de l'adaptation aux événements HABs. La définition et la mise en œuvre d'une approche par les risques et la vulnérabilité répond à cette attente, mais requiert l'élaboration d'un nouveau protocole d'évaluation.

Suite au fort épisode de contamination par ASP et DSP sur la côte Ouest des Etats-Unis en 2015, (Ekstrom *et al.* (2020) examinent par exemple les mesures de gestion prises par les agences gouvernementales fédérales et étatiques, ainsi que les réponses des habitants de la côte à cet épisode extrême de HABs, en utilisant un cadre de gestion des risques de catastrophe composé de quatre phases : 1) la prédiction et l'alerte précoce, 2) la réponse à l'événement, 3) la récupération et la reconstruction, et 4) l'atténuation et la prévention. Ces approches focalisent néanmoins sur la résilience des communautés côtières privilégiant la dimension sociale liée aux impacts des HABs. Moore *et al.* (2019) souligne ainsi que la résilience des communautés aux efflorescences algales nuisibles peut dépendre de leur vulnérabilité sociale et propose un cadre d'analyse pour l'identification des communautés de pêcheurs vulnérables.

L'approche par la vulnérabilité permet d'aller au-delà des captures et du chiffre d'affaires. Elle nécessite une caractérisation du risque économique des HABs pour les différentes activités impactées et notamment les pêcheries de coquilles Saint-Jacques ainsi que l'identification des stratégies d'adaptation. La démarche se décline alors en trois étapes :

- Caractérisation économique des activités (flottille de pêche coquillière : comptes d'exploitation, relevé d'activité).
- Évaluer la dépendance de la flotte aux zones de production d'un point de vue économique et en déduire des critères de vulnérabilité liés aux HABs (et autres menaces) par leur exposition aux efflorescences. Les pratiques et taux d'activité sont différents selon les navires et induisent des sensibilités au risque HABs différentes dont il faut tenir compte.
- Intégrer ces critères de vulnérabilité sous la forme d'un index spatialisé au sein de l'outil d'alerte en ligne de façon à traduire un risque général d'occurrence en une vulnérabilité adaptée aux différents segments de la flottille de pêche et proposer une information plus individualisée.

3.1. Caractérisation des activités et impacts

La démarche mise en place pour évaluer les impacts socio-économiques des HABs consiste à prendre en compte les types d'activités impactés, la nature de l'impact ainsi que toutes les stratégies d'adaptation et de gestion.

Il s'agit tout d'abord d'identifier tous les impacts et de les classer par type d'activité sous forme d'une carte d'impacts. Une méthodologie d'évaluation des impacts liés aux HABs, spécifique à chaque type d'activité, a été ensuite mise en place. Ces méthodologies sont basées sur des traitements de données complétés par des entretiens auprès des parties prenantes liées aux HABs, que ce soit par les impacts, la recherche ou la gestion. La disponibilité des données reste donc une contrainte forte.

La zone d'étude a été divisée en deux sous-zones en fonction du degré et du type d'impact, des activités impactées et des stratégies d'adaptation et de gestion des HABs. Il s'agit de la partie orientale et de la partie occidentale de la Manche. Au niveau de ces deux sous-zones, trois grandes activités économiques sont concernées : la pêche, l'aquaculture et la pêche à pied des mollusques bivalves (professionnelle et récréative). En fonction des zones, le degré d'impact diffère entre activités. En Manche-Est, l'évaluation des impacts liés aux HABs concerne principalement la pêche à la coquille Saint-Jacques mais aussi la mytiliculture et la pêche à pied. Pour les autres zones, l'analyse n'a pu être finalisée en raison du manque de données, mais il a été démontré que le département du Finistère représente une zone particulière en terme du système de gestion des HABs mais aussi du degré d'impact car elle constitue la zone la plus impactée par les HABs en Manche-Ouest.

Activité et Impact sur la pêcherie de coquilles Saint-Jacques

Seule la Manche Est a donc pu être caractérisée. Elle concentre l'essentielle de l'activité de pêche à la coquille. En Manche-Ouest, le département du Finistère représente une zone particulière en terme du système de gestion des HABs mais aussi du degré d'impact car elle constitue la zone la plus impactée par les HABs en Manche-Ouest. La méthodologie d'évaluation des impacts est pour l'instant détaillée pour la seule Manche Est mais sera appliquée de la même façon en Manche Ouest. Pour cette zone, seul l'indicateur d'exposition a pu être calculé en raison d'un accès retardé aux données en raison du contexte sanitaire lié au covid.

L'analyse des impacts économiques des HABs s'est donc focalisée principalement sur la pêcherie de coquilles Saint-Jacques en Manche-Est. Il s'agit de la principale activité affectée

par les HABs dans cette zone d'activité qui subit des épisodes de phycotoxicité d'intensité et fréquences importantes notamment depuis les années 90. Cette activité est composée d'une flotte de pêche pouvant être structurée en quatre catégories de navires selon les métiers pratiqués : les chalutiers dragueurs, les chalutiers arts dormants, les dragueurs exclusifs et les dragueurs polyvalents. De plus, trois catégories de taille sont également distinguées en se basant sur la réglementation : moins de 15 mètres (T1), 15-16 mètres (T2), et supérieur à 16 mètres (T3) (Figure 6). La majorité des navires pêchant la coquille Saint-Jacques font partie de la catégorie des chalutiers dragueurs et des dragueurs polyvalents. En terme de taille de navires, c'est la classe T1 (<15m) qui regroupe le plus grand nombre des navires pour chacune des catégories.

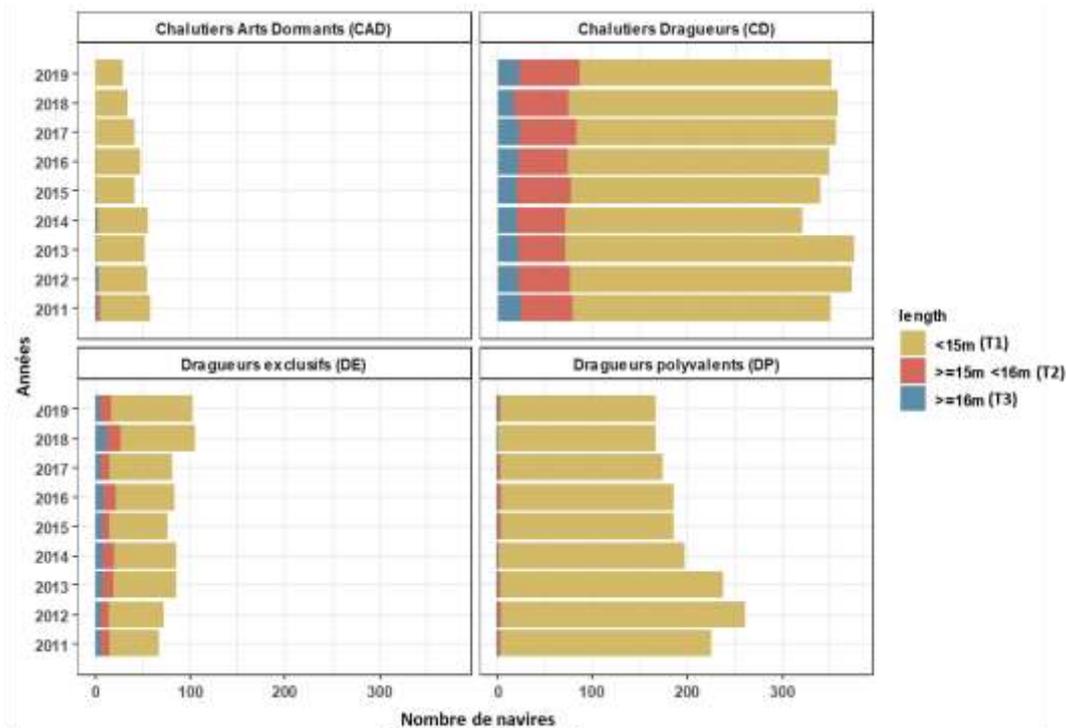


Figure 6. Distribution par taille des navires de pêche de coquilles Saint-Jacques en Manche-Est (Source de données : SIH-Ifremer)

En France, la pêche à la coquille Saint-Jacques est strictement réglementée, afin de gérer au mieux et préserver cette ressource. Des restrictions sont mises 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 (semaine n°40) et mai (semaine n°20) de l'année suivante, d'une fréquence variant entre deux à quatre jours par semaine. Les quotas de captures autorisées sont fixés en fonction de la taille des navires et du nombre de débarquements par semaine (Tableau 2).

Tableau 2. 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 coquille Saint-Jacques dans les secteurs « Baie de Seine » et « Hors-Baie de Seine », campagne 2017 - 2018.

Nombre de débarquements hebdomadaires autorisés	Quantité maximale autorisée 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

En terme de production, les chalutiers dragueurs représentent la catégorie qui contribue le plus aux débarquements totaux de coquille Saint-Jacques, suivie, respectivement, des dragueurs exclusifs, des dragueurs polyvalents et enfin des chalutiers arts dormants (figure 7). Pour l'ensemble des navires, la catégorie T1 qui représente les navires moins de 15 mètres semble la plus importante en terme de quantités débarquées. Pour les chalutiers arts dormants, la catégorie T3 (navires > 16 mètres) est absente. Cette catégorie ne pêche pas ou très peu la coquille Saint-Jacques, mais plutôt d'autres espèces (Figures 7 et 8).

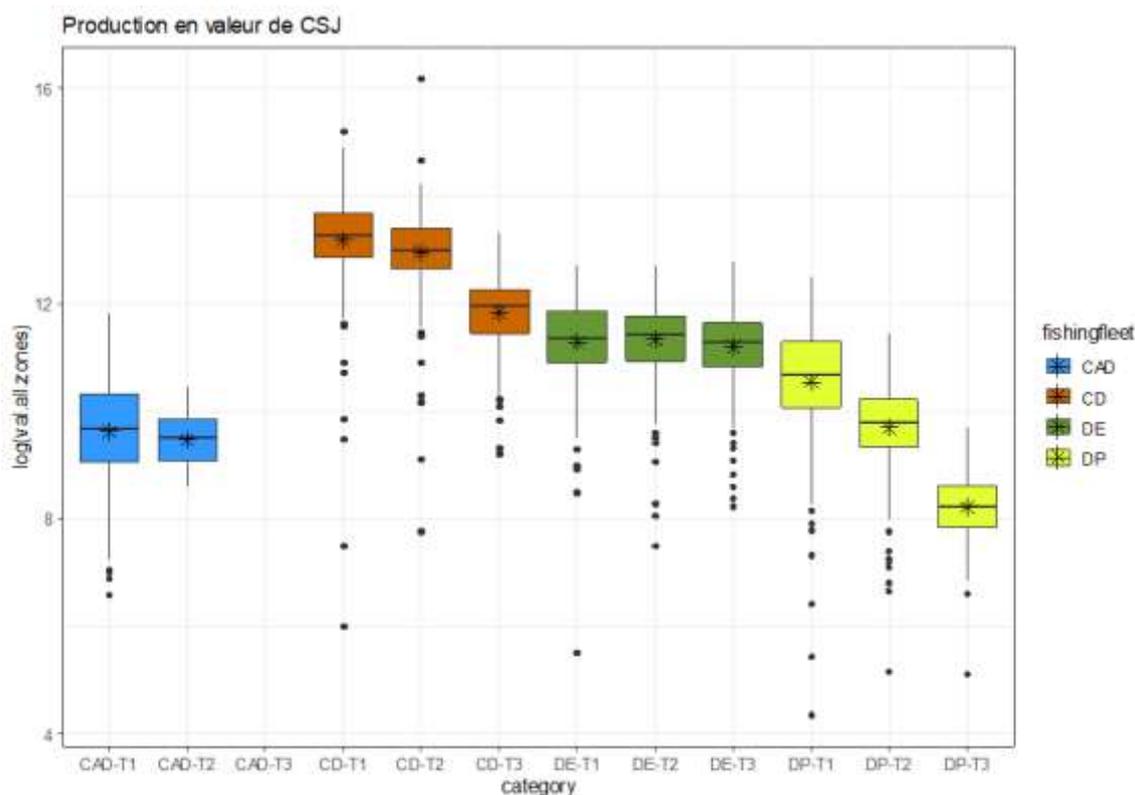


Figure 7. Production (en valeur) de coquilles Saint-Jacques en Manche-Est par catégorie de navires (Source de données : SIH-Ifremer)

Les figures 8, 9, 10 et 11 aux pages suivantes, représentent la composition, par semaine, des débarquements de chaque catégorie de navires étudiés. Elles montrent la saisonnalité de la pêche à la coquille Saint-Jacques ainsi que la variabilité du niveau de polyvalence entre les catégories de navires.

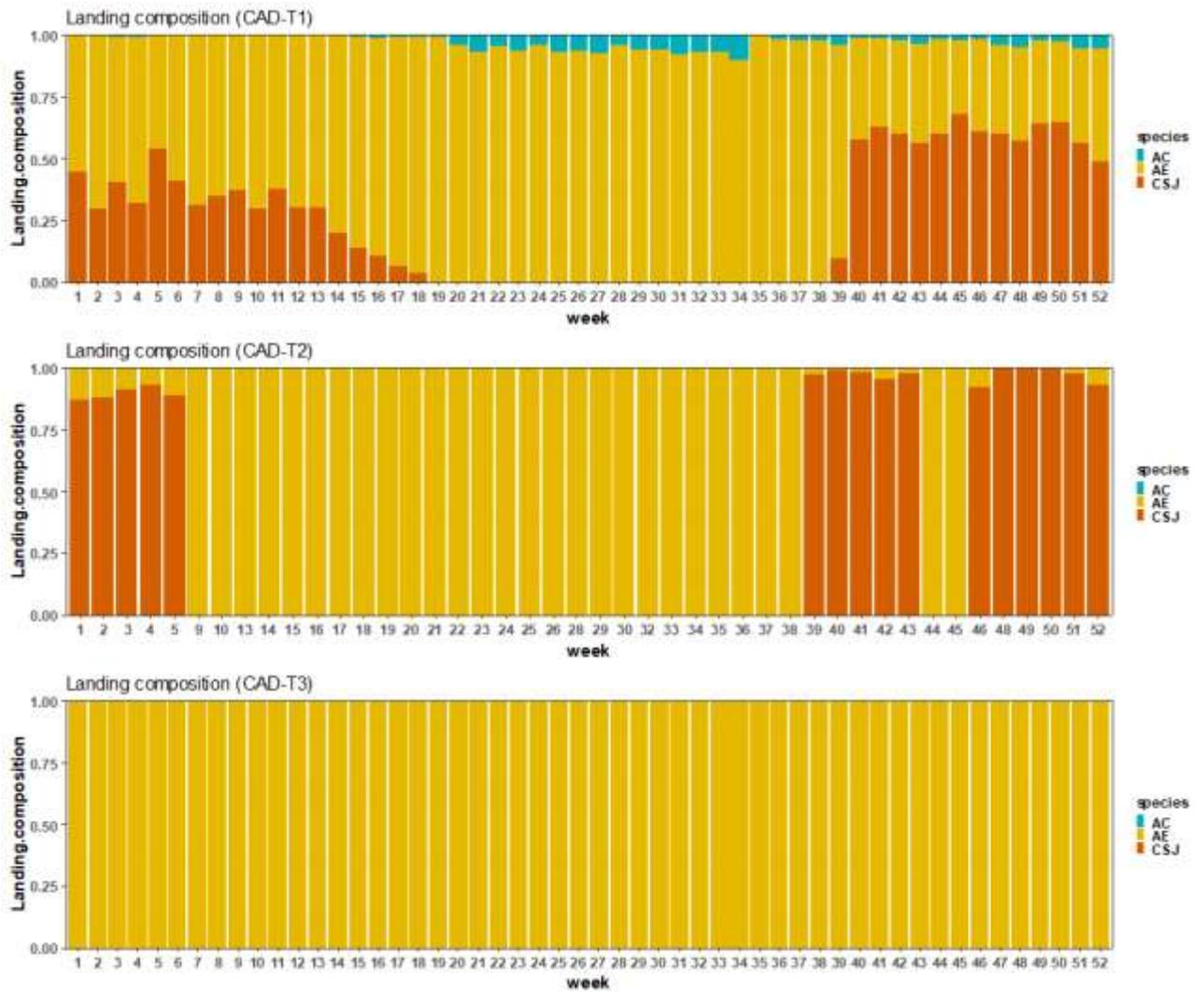


Figure 8. Evolution hebdomadaire de la composition des débarquements des chalutiers arts dormants (moyenne interannuelle entre 2012 et 2019)

CSJ : coquille Saint-Jacques, AC : autres coquillages, AE : autres espèces hors coquillages

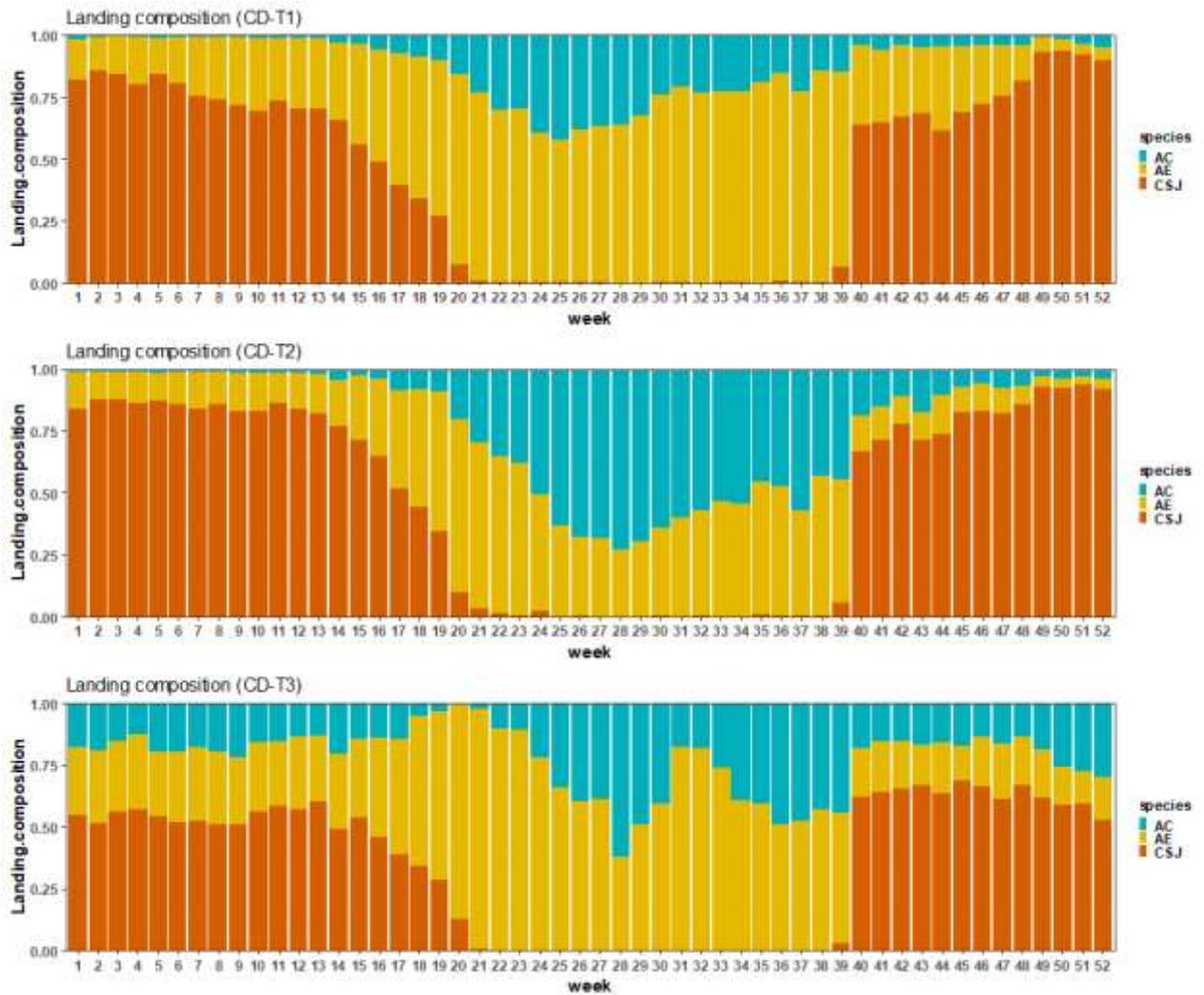


Figure 9. Evolution hebdomadaire de la composition des débarquements des chalutiers dragueurs (moyenne interannuelle entre 2012 et 2019)

CSJ : coquille Saint-Jacques, AC : autres coquillages, AE : autres espèces hors coquillages



Figure 10. Evolution hebdomadaire de la composition des débarquements des dragueurs exclusifs (moyenne interannuelle entre 2012 et 2019)

CSJ : coquille Saint-Jacques, AC : autres coquillages, AE : autres espèces hors coquillages

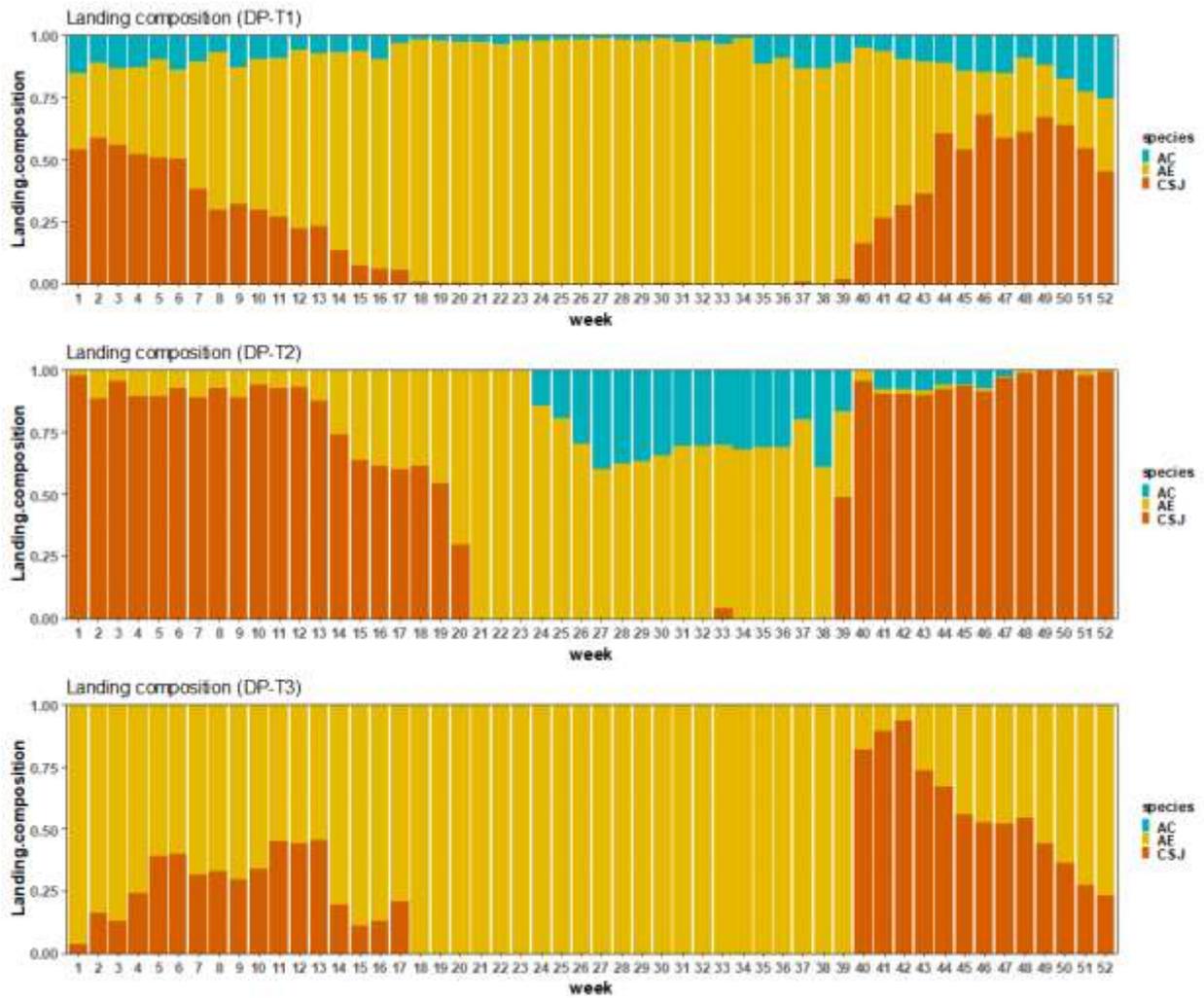


Figure 11. Evolution hebdomadaire de la composition des débarquements des dragueurs polyvalents (moyenne interannuelle entre 2012 et 2019)

CSJ : coquille Saint-Jacques, AC : autres coquillages, AE : autres espèces hors coquillages

Le risque d'impact économique des HABs sur la pêche de coquilles Saint-Jacques est lié au manque à gagner du fait des fermetures des zones de production lors d'un épisode de toxicité, qui tient compte des pertes de production et des coûts liés aux différentes stratégies d'adaptation pour éviter ou réduire des impacts économiques. L'évaluation des risques associés aux HABs sur la pêche est basée premièrement sur une analyse de la vulnérabilité de ses flottilles de pêche face aux HABs et compte tenu des estimations de pertes de productivité. L'analyse des coûts associés aux HABs constitue la deuxième étape de l'évaluation des impacts. Elle consiste à analyser l'évolution des coûts associés aux stratégies d'adaptation et d'évitement des HABs, en se basant sur les données économiques du SIH et des entretiens auprès des pêcheurs. Une estimation des coûts de gestion et de surveillance des HABs sera également réalisée à partir des entretiens avec les administrations en charge de la gestion (Figure 12).

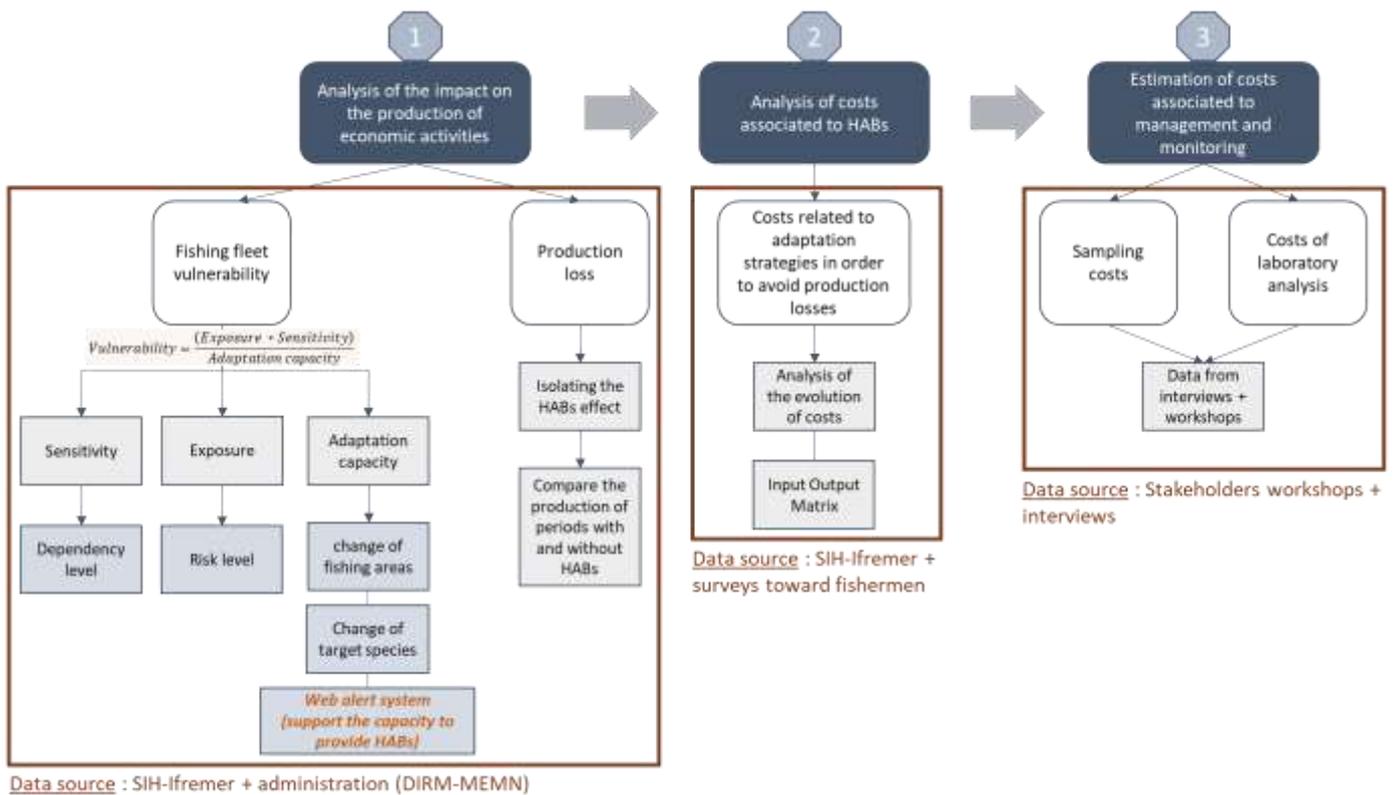


Figure 12. Processus de l'évaluation des impacts des HABs sur la pêche de coquille Saint-Jacques en Manche-Est

3.2. Analyse des épisodes de toxicité des HABs et des contaminations des coquilles Saint-Jacques

En France, les premiers épisodes de toxicité ont été enregistrés en 1984, pour les toxines lipophiles (DSP), en 1988 pour les toxines paralysantes (PSP), et en 2000 pour les toxines amnésiantes (ASP). La coquilles Saint-Jacques fait partie des espèces les plus touchées par les contaminations par les phycotoxines. L'analyse des données sur les concentrations en toxines accumulées dans les organismes marins (données REPHYTOX) a montré qu'au niveau de la Manche-Est les contaminations de la coquille Saint-Jacques ont commencé en 2003, avec des pics de concentrations de DSP en 2005 puis entre 2014 et 2018, et d'ASP entre 2004 et 2012 (figures 13 et 14). Aucun dépassement des seuils réglementaires a été observé pour les PSP dans cette zone (figure 15).

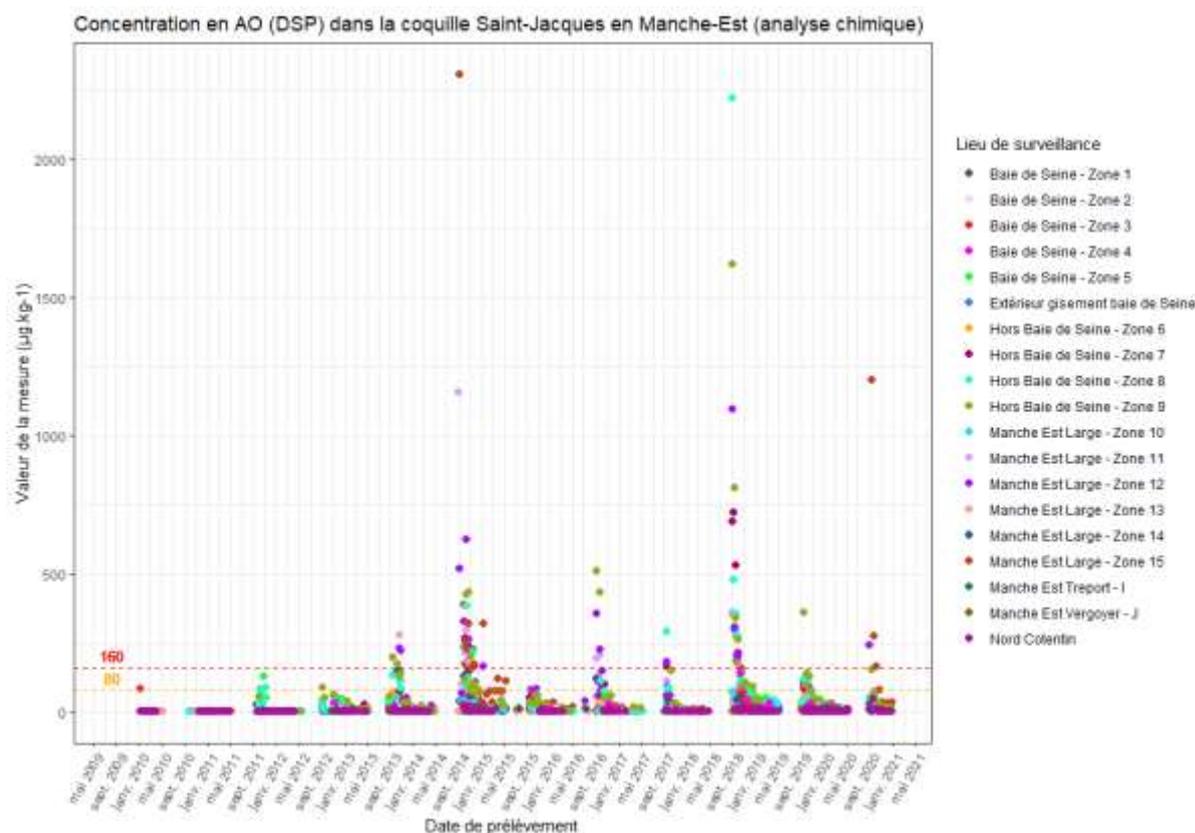
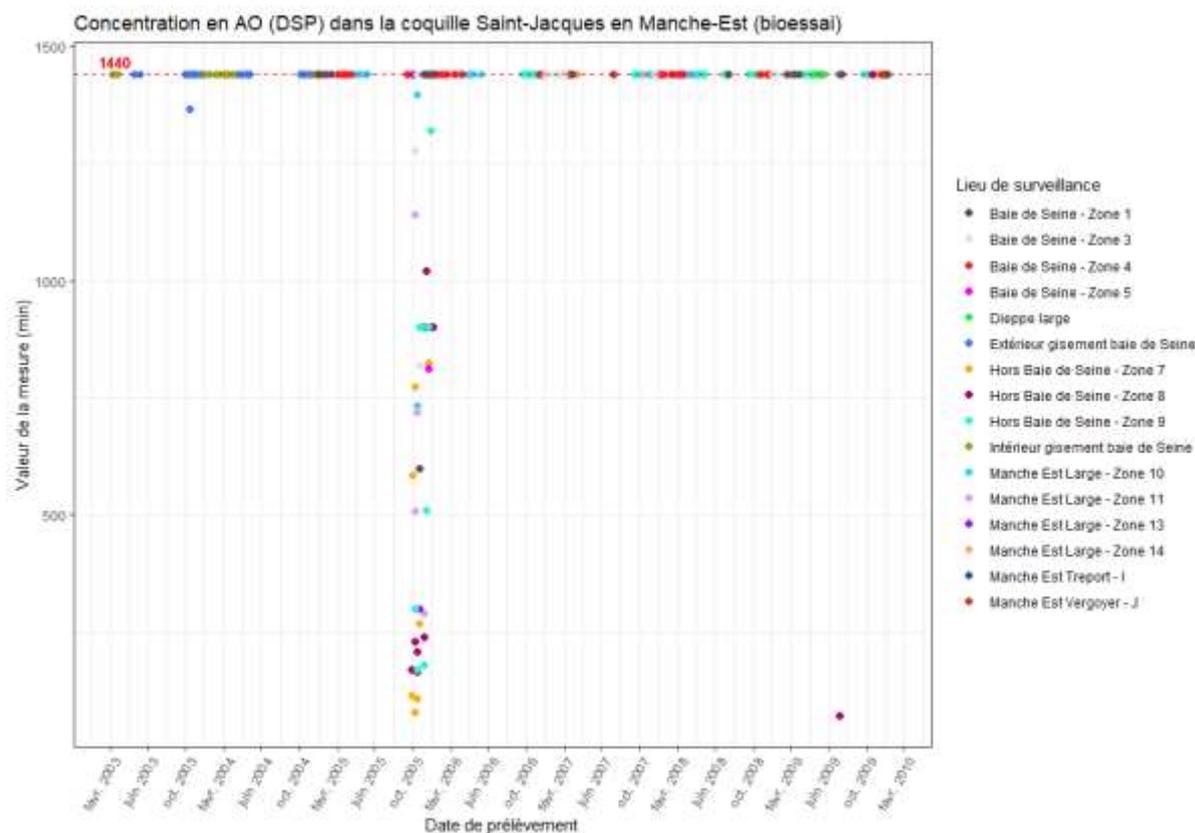


Figure 13. Concentration de l'acide okadaïque (AO) responsable des DSP dans la coquille Saint-Jacques par lieu de surveillance en Manche-Est (méthode bioessai : 1987-2009, méthode chimique : à partir de 2010)

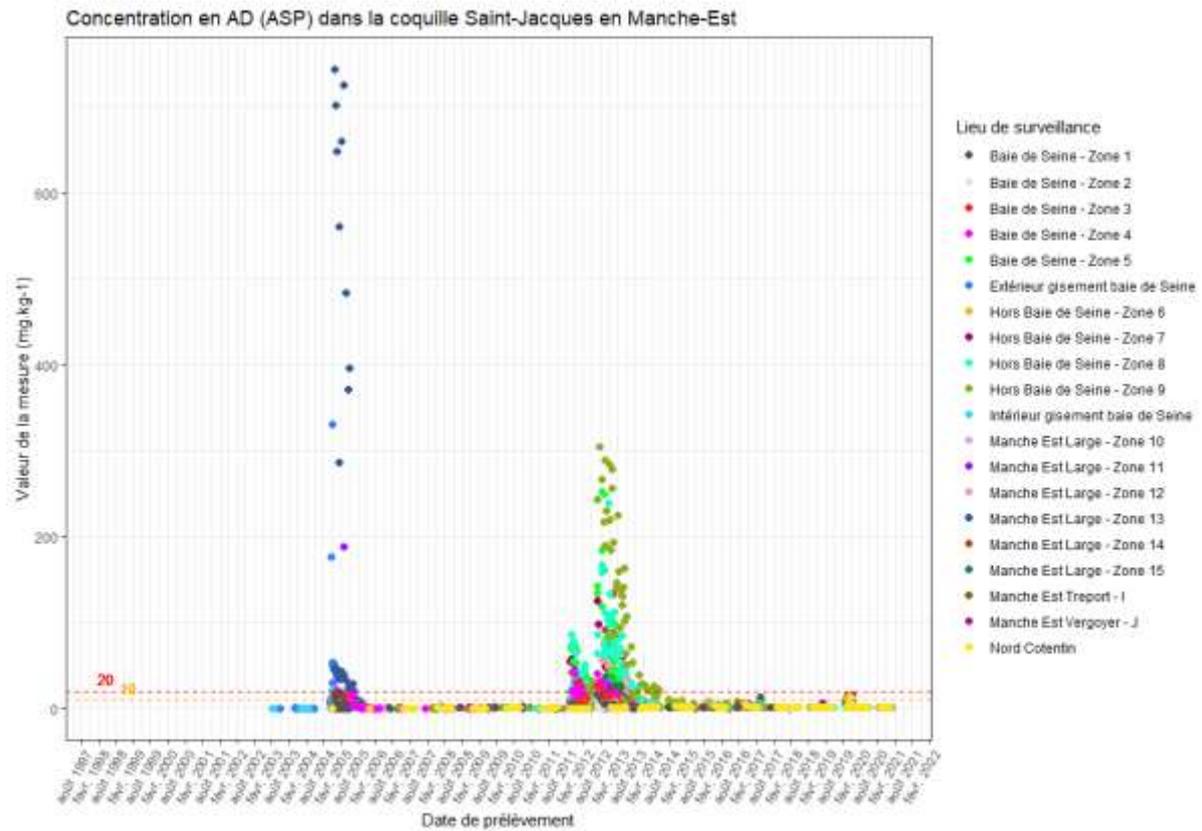


Figure 14. Concentration de l'acide domoïque (AD) responsable des ASP dans la coquille Saint-Jacques par lieu de surveillance en Manche-Est

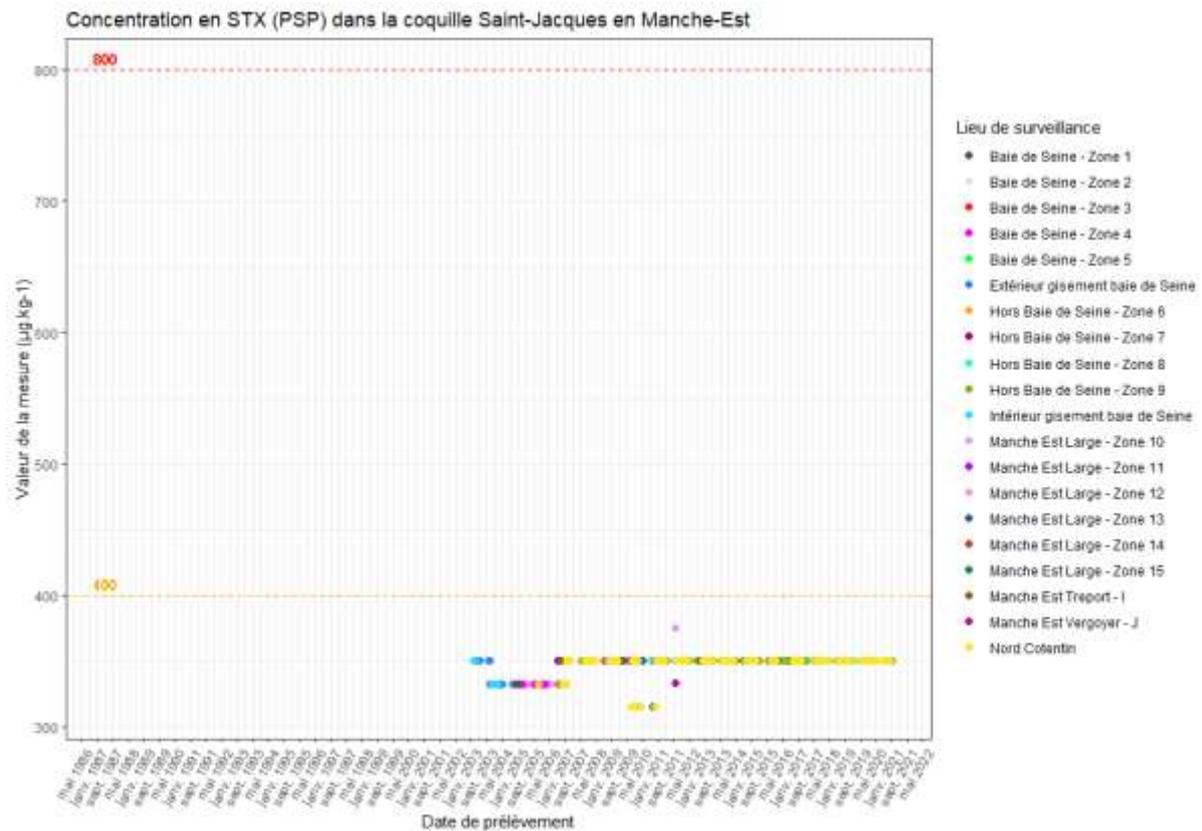


Figure 15. Concentration des Saxitoxines (STX) responsables des PSP dans la coquille Saint-Jacques par lieu de surveillance en Manche-Est

La figure 16 représente le nombre annuel cumulé des résultats non conformes observés en Manche-Est. Quatre espèces de bivalves ont été concernées : la moule et la coquille Saint-Jacques, et plus rarement le pétoncle blanc et l’huître creuse. La moule est la principale espèce touchée par les toxicités de DSP en raison de sa capacité de bioaccumulation de cette famille de phycotoxines, elle représente ainsi l’espèce sentinelle pour les analyses de présence de toxines lipophiles. La coquille Saint-Jacques est particulièrement caractérisée par l’accumulation des toxines amnésiantes avec des détoxifications parfois très longues que la recherche a encore du mal à expliquer. Des résultats non conformes de concentration en DSP dans la coquille ont été également enregistrés. Ces contaminations ont été à la source des crises de 2004 - 2005 et de 2012 - 2013 en raison des fermetures des zones de production et de l’interdiction de pêche. Après la crise ASP de 2012, le nombre de résultats non conformes a baissé, et à partir de 2015 les DSP représentent les seules toxines responsables des fermetures des zones de production (figure 17).

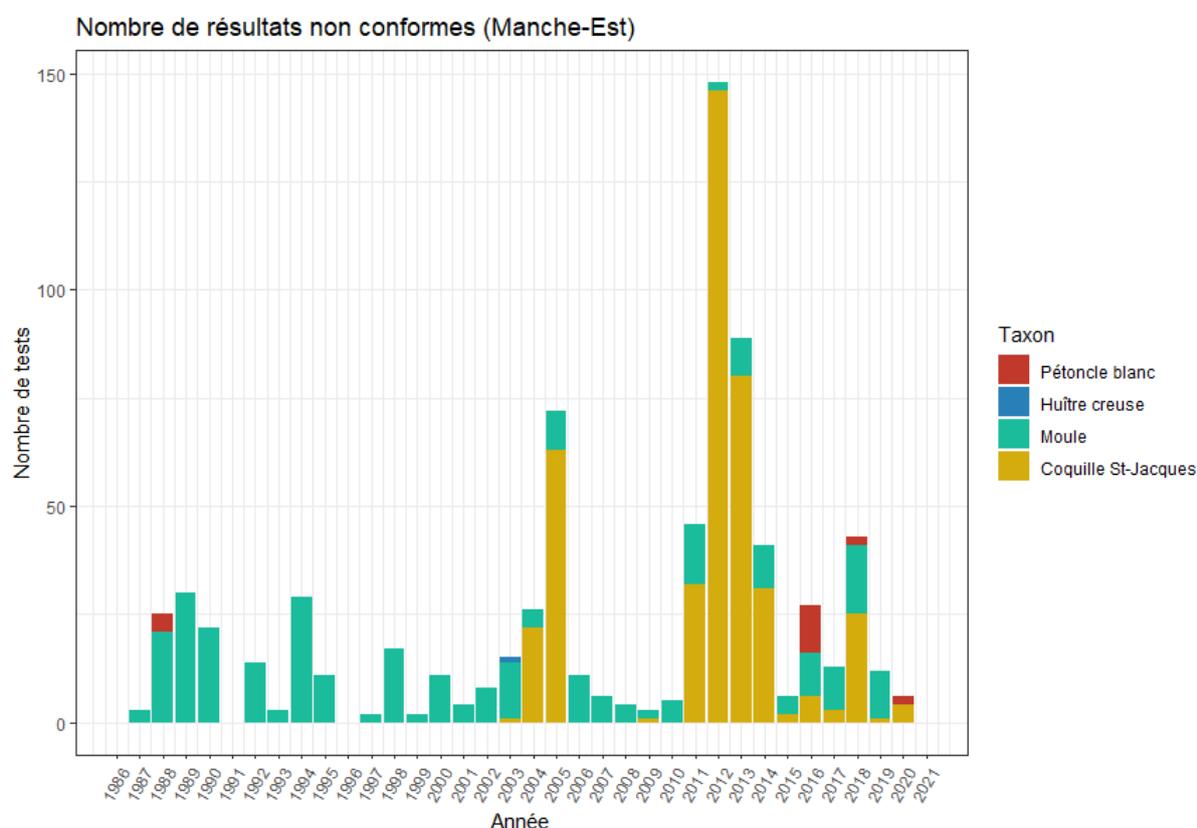


Figure 16. Nombre total de résultats non conformes des analyses de phycotoxines en Manche-Est par espèces (zones confondues)

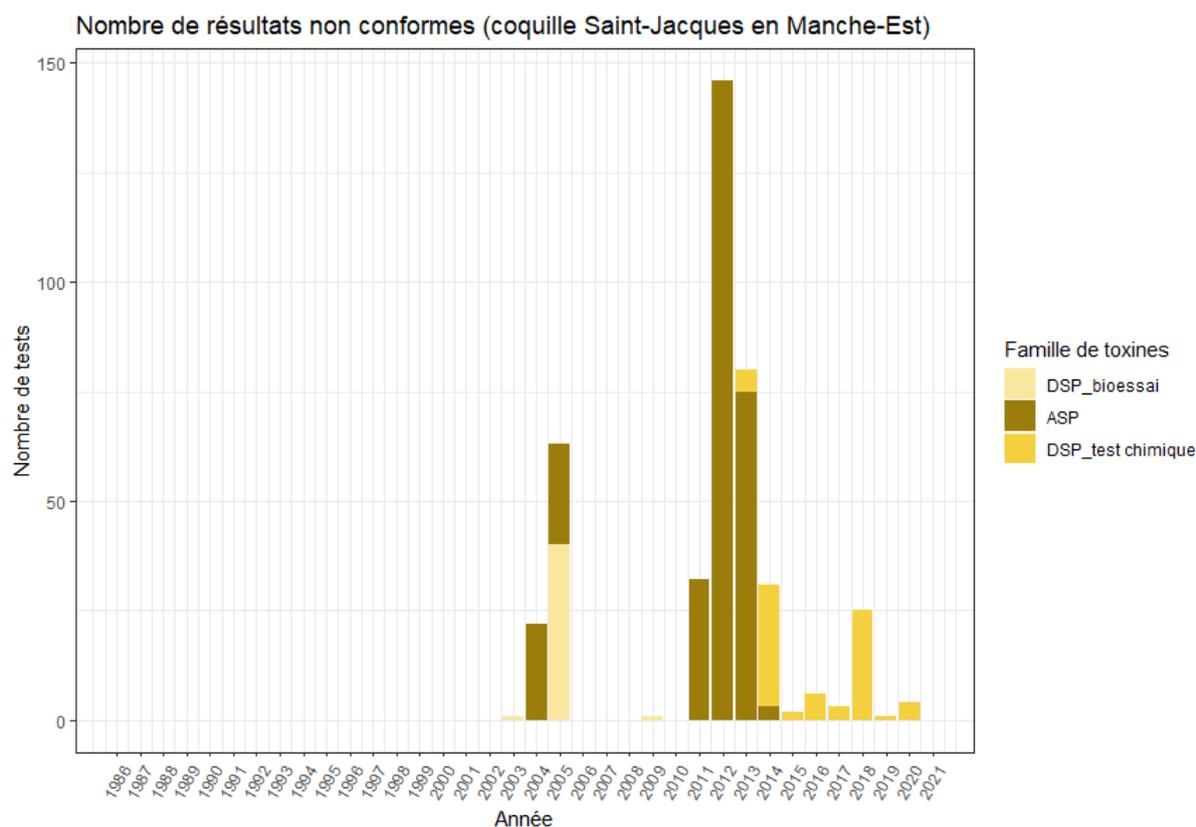


Figure 17. Nombre de résultats non conformes des analyses de phycotoxines dans la coquille Saint-Jacques en Manche-Est par famille de toxines (zones confondues)

Afin de comprendre l'impact de ces contaminations et donc des fermetures des zones de production sur l'activité de la pêche à la coquille Saint-Jacques, une analyse des données de fermetures a été effectuée. L'objectif est de comprendre le fonctionnement de la gestion de ce problème et le mécanisme des fermetures des zones de production. En règle générale, en se basant sur les résultats d'analyses de phycotoxines, une zone de production est fermée lorsque la teneur en toxines (ASP, DSP ou PSP) dans les coquillages dépasse les seuils réglementaires de sécurité sanitaire définis dans le règlement (CE) N°853/2004 du 29 avril 2004¹. La zone reste fermée jusqu'à l'obtention de deux résultats conformes (inférieurs aux seuils réglementaires) séparés d'une semaine. Cependant, même si la réglementation est strictement appliquée, les mesures de gestion mises en place au regard des HABs et les décisions prises sont fortement liées au contexte socio-économique de chaque cas d'épisode de toxicité (Chenouf *et al.*, 2020 b). Pour comprendre le processus et les mécanismes de la mise en place de ces mesures de gestion, une démarche basée sur une comparaison entre les fermetures théoriques estimées à partir d'une programmation en se basant sur les données d'analyses des phycotoxines (REPHYTOX) (Chenouf *et al.*, 2020 a), et les fermetures réelles issues des administrations de gestion. Cette comparaison a montré un écart entre la durée des fermetures théoriques et celle des fermetures réelles, cet écart est expliqué par le facteur humain lié à l'ensemble des stratégies et des processus de concertation entre les administrations de gestion et les experts du phénomène. Une telle démarche a permis de mettre en évidence les stratégies d'adaptation et l'évolution des stratégies de gestion (fermetures de précaution, filière de

¹ Les seuils réglementaires sont : 1440 min (24 heures) pour les DSP recherchées par méthode bioessai (méthode officielle jusqu'à 2009), 160 µg/kg pour les DSP recherchées par méthode chimique (méthode officielle à partir de 2010), 20 mg/kg pour les ASP, et enfin 800 µg/kg pour les PSP.

décorticages, etc.), mais aussi les enjeux auxquels fait face la gestion de la pêche dans le contexte des HABs. L'analyse de ces enjeux a fait l'objet d'une publication scientifique (Pérez Agúndez et al. 2022).

3.3. Analyse de la vulnérabilité des navires de pêche à la coquilles Saint-Jacques

L'analyse de vulnérabilité a pour but (1) d'évaluer comment les flottilles sont affectées et (2) de mesurer le degré auquel ces flottilles sont susceptibles de subir des impacts à cause d'une exposition au risque de HABs (Turner *et al.*, 2003 ; Pérez Agúndez *et al.*, 2014). Le processus de cette analyse est composé de trois principales étapes qui représentent les composantes de l'indicateur de vulnérabilité : le niveau d'exposition des flottilles au risque de contamination des coquilles Saint-Jacques, leur sensibilité à telle menace et leur capacité d'adaptation à la suite des restrictions mises en œuvre (fermetures administratives). Ces composantes sont mesurées par un ensemble d'indicateurs définis au Tableau 3.

Tableau 3. Les indicateurs permettant de calculer les composantes de la vulnérabilité

Composante de vulnérabilité	Facteurs	Indicateurs
Exposition	Fermeture des zones de production associées aux contaminations des coquilles Saint-Jacques	Taux de perte de jours d'activité (taux de fermeture)
Sensibilité	Dépendance à la coquille Saint-Jacques	Contribution de la coquille Saint-Jacques aux débarquements totaux
		Dépendance économique des flottilles à la coquille Saint-Jacques
		Taux d'activité au sein de la zone de production
	Dépendance à la zone de production susceptible d'être fermée	Taux de fréquentation des zones de production
		Contribution des zones aux débarquements totaux de coquille Saint-Jacques
Capacité d'adaptation	Changement de zone	Taux de contribution d'autres zones
	Polyvalence	Contribution d'autres espèces aux débarquements

L'exposition décrit le fait que les flottilles de pêche sont confrontées aux fermetures des zones de production suite aux contaminations des coquilles Saint-Jacques par les HABs. L'indicateur choisi pour caractériser l'exposition au risque est le taux de perte de jours d'activité à cause des interdictions d'accès aux zones de pêche. Ce taux de perte a été estimé en rapportant la durée des fermetures à la durée totale de pêche autorisée, pour chaque zone de production, en mobilisant les données de fermeture issues de la DIRM-MEMN. Cet indicateur est représenté

à la figure 18. Le niveau d'exposition a été donc estimé sur une échelle de 1 à 4, 4 étant l'exposition la plus forte, ce qui signifie qu'une zone ayant un niveau d'exposition de 4 est fermée durant toute la semaine (100% de fermeture).

Comme l'illustre la figure 18, la zone 9 représente une zone à risque car elle présente des niveaux d'exposition élevés (*Exp.Ind* entre 3,5 et 4), et sur une longue durée (pendant toute la saison de pêche 2012-2013 et 2013-2014 ainsi que plusieurs semaines en 2014-2015). Les saisons 2013-2014 et 2014-2015 sont caractérisées par des fermetures en début de saison qui ont touché plusieurs zones de production. Cela pourrait présenter un risque sur l'activité de la pêche en raison de la grande répartition des fermetures (plusieurs zones ont été touchées) mais aussi de la coïncidence de la période des fermetures avec la période la plus importante de l'activité : en début de saison (entre octobre et décembre) les apports sont en effet les plus importants.

D'après les données de la DIRM-MEMN, les zones 1, 2, 3, 4, et 5 représentant les zones de la baie de Seine n'ont jamais été fermées. Cela est dû à plusieurs raisons. D'une part aux conditions environnementales et aux processus biologiques et écologiques, et d'autre part aux mesures de gestion qui sont spécifiques à cette zone. On peut aussi émettre l'hypothèse que la période de fortes intoxications et contaminations de coquilles Saint-Jacques correspond ou coïncide avec la période de fermeture de la saison de pêche (soit avant l'ouverture de la saison ou après la fermeture), comme le montre la figure 13 pour les saisons 2013-2014 et 2014-2015 (fermeture de la pêche des semaines 21 à 39). Cela signifie que même si les coquilles sont contaminées, il n'y a dès lors pas de prélèvements et d'analyses qui permettraient de suivre les niveaux de contaminations, car les prélèvements ne se font pas en dehors de la saison de pêche (pas d'activité de production donc pas de risque sanitaire). Les données sur les fermetures/ouvertures observées des zones de production ne permettent donc pas à elles seules de confirmer ou infirmer l'absence de contaminations en dehors des saisons de pêche. L'apport de l'outil d'alerte en ligne pourrait précisément contribuer à éclaircir ce point sur les périodes à venir, voire sur les périodes passées si les capteurs plus anciens (MODIS/VIIRS) et la disponibilité d'observations permettaient une évaluation du risque d'occurrence de HABs.

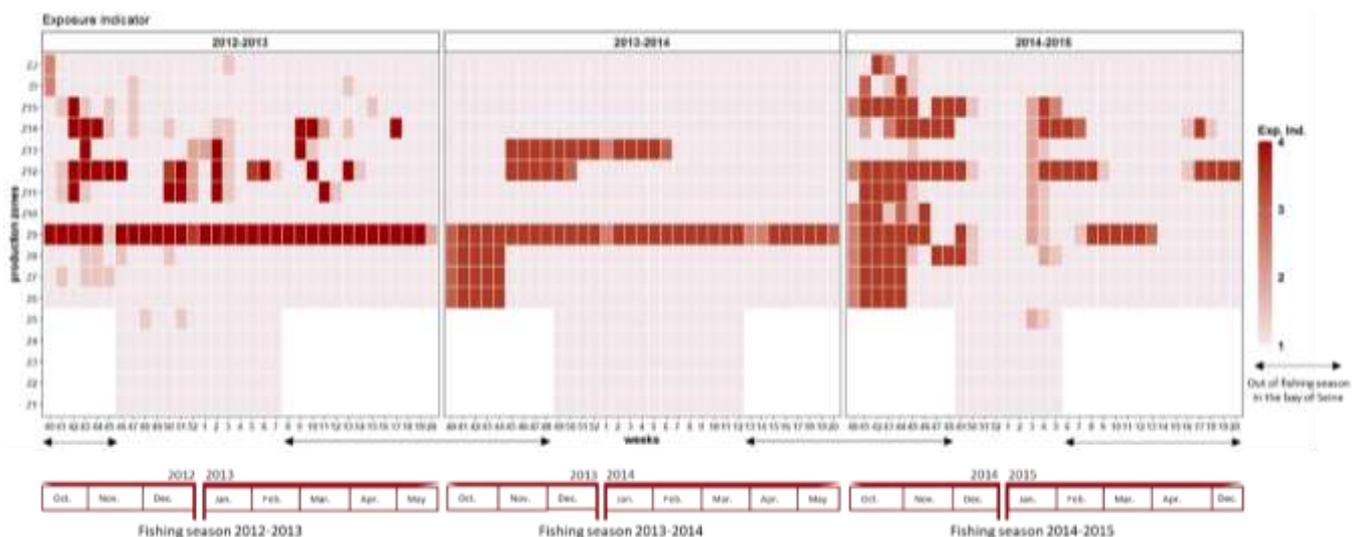


Figure 18. Représentation de l'indicateur caractérisant l'exposition des flottilles de pêche de coquilles Saint-Jacques au risque de HABs pour les saisons 2012-2013, 2013-2014 et 2014-2015

La sensibilité exprime la capacité de résistance et l'intensité de l'impact pouvant être potentiellement subi par les flottilles de pêche en cas de confrontation à des évènements HABs. Cette composante a été évaluée par des indicateurs (1) de dépendance des flottilles à la production de la coquille Saint-Jacques, ce qui est notamment déterminé par le niveau de spécialisation et donc de polyvalence des navires et (2) de dépendance à la zone de production susceptible d'être fermée (plus un bateau possède de la mobilité spatiale et plus il lui sera facile d'éviter l'arrêt de production en se déplaçant vers une zone non impactée ou contaminée). Trois indicateurs ont été utilisés afin d'estimer le degré de dépendance des flottilles à la coquille Saint-Jacques : la contribution de la coquille Saint-Jacques aux débarquements totaux, sa contribution au chiffre d'affaire (dépendance économique), et le taux d'activité au niveau de la zone de production exprimé en nombre de jours d'activité par semaine. La fréquentation observée des zones de production par les différentes flottilles a permis d'estimer leur dépendance aux zones susceptibles d'être fermées. Cette fréquentation est caractérisée par le rapport entre le nombre de marées effectuées au niveau de chaque zone de pêche et le nombre total des marées réalisées par chaque catégorie de flottilles. La contribution de chacune des zones de pêche à la production totale de coquilles constitue le 2^{ème} indicateur utilisé pour estimer la dépendance des navires aux zones de production. La sensibilité des flottilles de pêche est liée aux caractéristiques techniques et économiques des navires mais aussi aux facteurs géographiques, culturels et sociaux. Le facteur « temps » joue également un rôle très important (Gameren *et al.*, 2014). Etant une pêche saisonnière avec une forte activité en début de saison, les navires de pêche sont plus sensibles aux fermetures durant cette période par rapport aux autres périodes de l'année.

La combinaison de l'exposition et de la sensibilité détermine l'impact potentiel des fermetures associées aux HABs sur les flottilles de pêche. Une fermeture de longue durée (exposition) d'une zone très fréquentée par des navires de pêche dépendant de la production de coquille Saint-Jacques (sensibilité) pourrait ainsi se traduire par des coûts et des pertes de production (impact potentiel).

Enfin, la capacité d'adaptation fait référence aux différentes stratégies et actions mises en œuvre dans la perspective de limiter les impacts associés aux HABs et donc de réduire la vulnérabilité (Smith *et al.*, 1999 ; White *et al.*, 2005 ; Smit & Wandel, 2006). La capacité d'adaptation des entreprises de pêche de coquilles Saint-Jacques en réponse aux fermetures pour cause de HABs est représentée par leur capacité à reporter leur effort de pêche vers d'autres zones non contaminées ou fermées, et/ou de changer d'espèce cible (notion de polyvalence). La capacité d'adaptation est fonction de la zone géographique, de la politique appliquée et des stratégies de gestion du groupe socioéconomique et de tout moyen de soutien de cette capacité d'adaptation (Smit & Wandel, 2006). Pour le cas des flottilles coquillères, leur capacité d'adaptation varie en fonction de l'évolution des occurrences de HABs, du système de gestion et de gouvernance de cette pêcherie, et des catégories de flottilles. Il a été également démontré que les stratégies d'adaptation (changement de zone et/ou d'espèce cible) sont différentes entre la partie orientale et occidentale de la Manche. En plus de ces stratégies d'adaptation et de gestion face aux HABs, l'outil d'alerte en ligne pourrait être un des moyens de soutenir et renforcer ces stratégies d'adaptation et de gestion face aux HABs par une alerte plus précoce et donc de réduire les impacts sur les activités. La capacité d'adaptation des flottilles a été évaluée par deux indicateurs : le premier permet de décrire la répartition spatiale de chacune des catégories de flottilles durant la saison de pêche à la coquille Saint-Jacques et caractérise ainsi leur capacité

de changer de zone de pêche lors d'une période de fermeture sanitaire. Le deuxième indicateur mesure le degré de polyvalence des catégories de navires par le taux de contribution d'autres espèces que la coquille Saint-Jacques aux débarquements totaux.

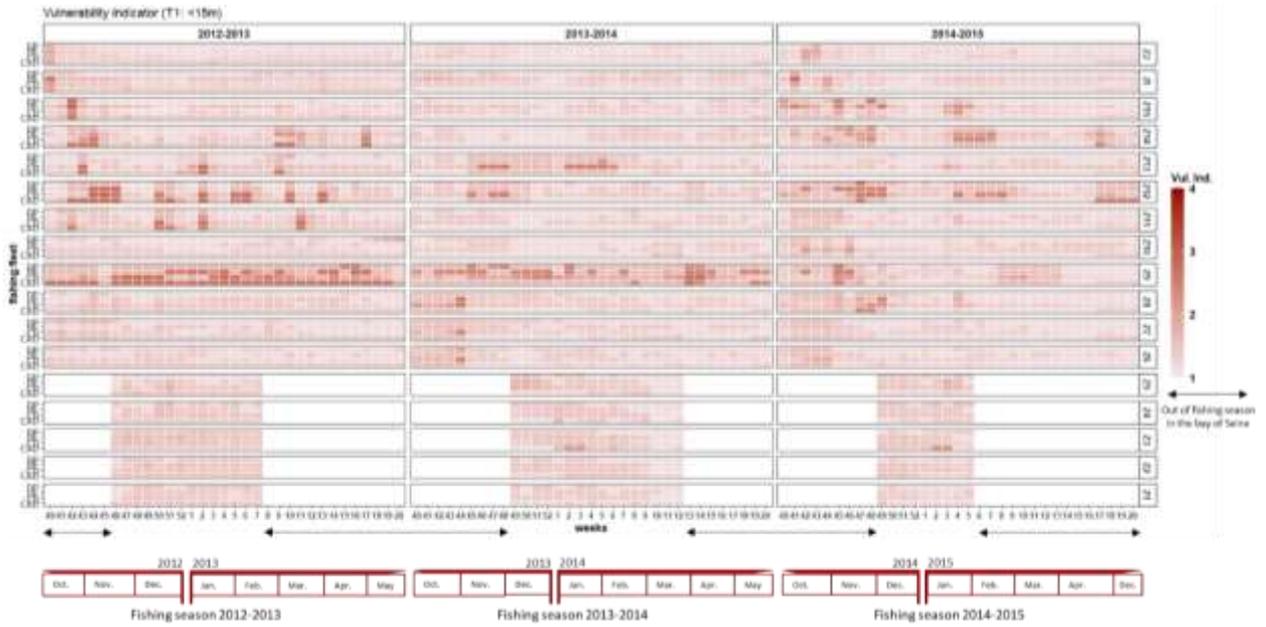
Il existe plusieurs méthodes pour calculer l'indicateur de vulnérabilité, mais les trois composantes (exposition, sensibilité et capacité d'adaptation) sont toujours les mêmes. Dans ce travail, nous avons utilisé l'équation proposée par White *et al.*, 2005, car c'est celle qui est la plus utilisée dans la littérature.

$$\text{Vulnérabilité} = \frac{\text{Exposition} * \text{Sensibilité}}{\text{Capacité d'adaptation}}$$

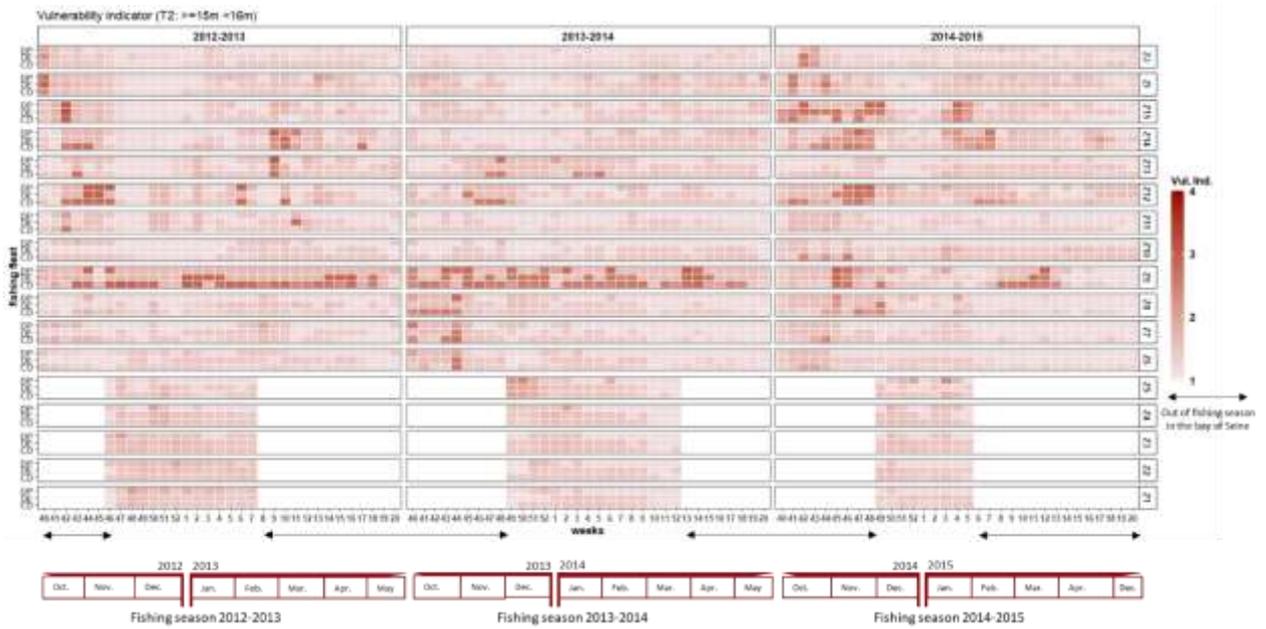
Il est cependant nécessaire de souligner le lien entre la sensibilité et l'adaptation (Fritzsche *et al.*, 2015). En effet, depuis les premiers grands épisodes de contamination par HABS en Manche-Est, des stratégies d'adaptation se sont mises en place, notamment le découpage des zones de pêche en plusieurs sous-zones telle que la création des zones de production de coquilles Saint-Jacques en 2012, et la mise en place des filières de décorticage. La sensibilité des flottilles comprend donc déjà une adaptation historique et elle varie en fonction de l'évolution de ces stratégies d'adaptation collectives par les administrations de gestion. Les réponses et les comportements des entreprises de pêche (choix de stratégies d'adaptation individuelles) dépendent à leur tour du degré d'exposition aux risques de fermeture (zone et durée de fermeture). Par conséquent, en fonction des catégories de navires, les coûts associés aux impacts et donc aux choix de stratégie ainsi que la vulnérabilité sont plus ou moins élevés.

Tous les indicateurs caractérisant l'exposition, la sensibilité et la capacité d'adaptation ont été normalisés de 1 à 4 avant d'estimer l'indicateur de vulnérabilité. Cet indicateur a été calculé pour chaque catégorie de flottilles et il a été représenté par zone de production, par semaine et par saison de pêche. La figure 19 illustre l'évolution temporelle et spatiale de la vulnérabilité pour chacune des flottilles étudiées. Ces dernières sont regroupées par catégorie de taille (T1 : navires de taille <15m, T2 : navires de taille entre 15m et 16m, et T3 : navires de taille >=16m).

A



B



C

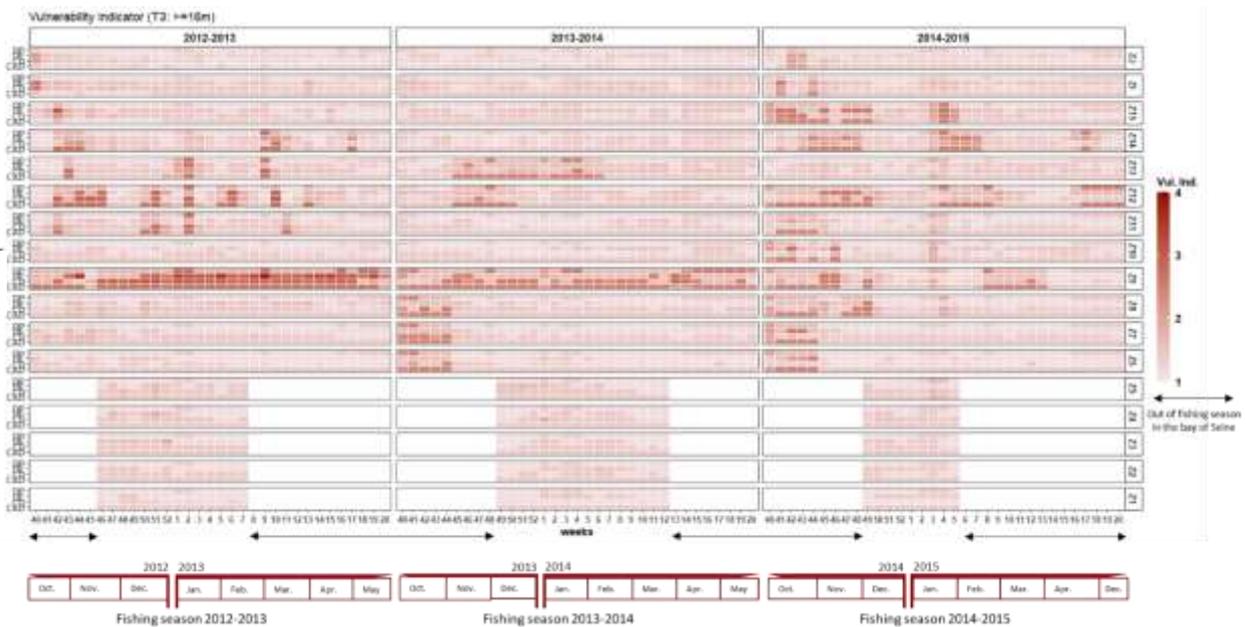


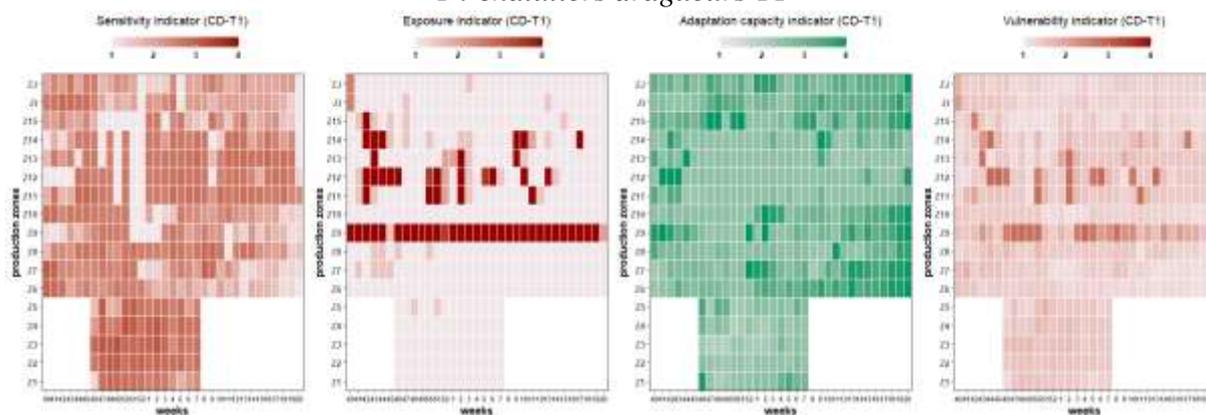
Figure 19. Représentation de l'indicateur de vulnérabilité des flottilles de pêche face aux risques des HABs (A : navires de taille $< 15m$, B : navires de taille entre $15m$ et $16m$, C : navires de taille $\geq 16m$)

On remarque une grande variabilité spatiale et temporelle de la vulnérabilité et une hétérogénéité entre les métiers même au sein d'une même catégorie de taille (Figures 20 et 21). Comme l'indique son équation, cette variabilité de la vulnérabilité est expliquée par la variabilité de ses composantes. La figure 20 illustre un exemple de l'hétérogénéité inter-catégories de la sensibilité, de la capacité d'adaptation et de la vulnérabilité face à une même exposition en termes de fermetures. Les chalutiers dragueurs (T1) semblent avoir une sensibilité relativement élevée au niveau de l'ensemble des zones de production, mais principalement au niveau de la baie de Seine (Z1, Z2, Z3, Z4 et Z5). Quant à leur capacité d'adaptation, elle est très faible au sein de la baie de Seine et intermédiaire dans les autres zones. Ayant une sensibilité importante, une exposition élevée dans certaines zones et sur certaines périodes, ainsi qu'une capacité d'adaptation intermédiaire, cette catégorie semble avoir une vulnérabilité intermédiaire voire un peu élevée selon les zones et les semaines.

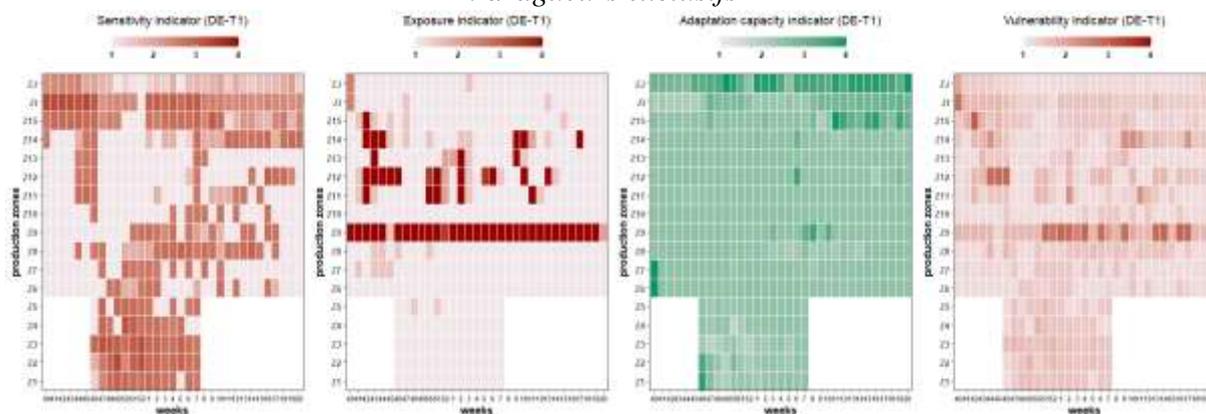
La catégorie des dragueurs exclusifs (T1) présente des profils différents en terme de sensibilité, de capacité d'adaptation et donc de vulnérabilité. Cette catégorie est caractérisée par une sensibilité plus élevée et très locale en fonction des semaines de la saison de pêche. Trois périodes de forte sensibilité se distinguent : une première en début de saison qui concerne les zones hors baie de Seine (de la zone 10 à la zone J), puis une deuxième au niveau de la baie de Seine dès son ouverture, et enfin une troisième après la fermeture de la baie de Seine qui concerne les zones du proche extérieur (Z6, Z7, Z8 et Z9) et quelques zones du secteur hors baie de Seine. La capacité d'adaptation de cette catégorie est moyenne et très faible en baie de Seine. L'indice de vulnérabilité est important dans quelques zones (Z9, Z12 et Z15), mais durant quelques semaines seulement, et il est plutôt intermédiaire voire très faible pour le reste des zones et semaines.

Les dragueurs polyvalents (T1) représentent la catégorie la moins sensible aux fermetures avec un indice de capacité d'adaptation élevé lié à leur polyvalence et leur faible dépendance à la pêche de coquille Saint-Jacques. Cela se traduit par une vulnérabilité intermédiaire voire très faible.

1 : chalutiers dragueurs T1



2 : dragueurs exclusifs T1



3 : dragueurs polyvalents T1

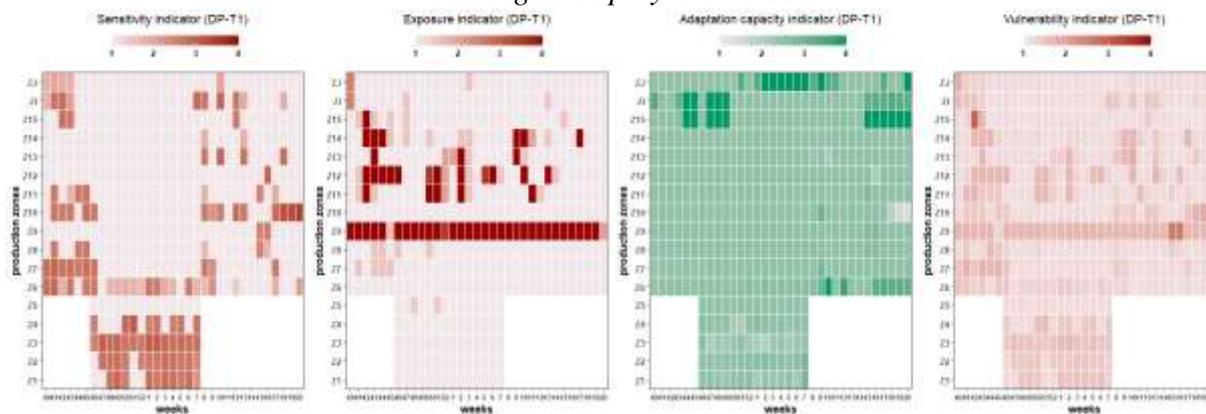


Figure 20. Représentation des indicateurs de sensibilité, d'exposition, de capacité d'adaptation et de vulnérabilité des flottilles de taille 1 (<15m) par zone et par semaine pour la saison 2012-2013

La figure 21 illustre un exemple de comparaison d'indicateurs entre les catégories de navires à une échelle temporelle plus fine (une semaine). Ces cartes représentent la répartition de l'indicateur de vulnérabilité et de ses composantes au niveau des zones de production de coquilles Saint-Jacques durant la semaine 50 de la saison de pêche 2012-2013. Elles illustrent d'une manière plus détaillée les conclusions précédentes sur l'hétérogénéité inter-catégories des indicateurs de sensibilité et de capacité d'adaptation et leur rôle sur le profil de la vulnérabilité de chaque catégorie.

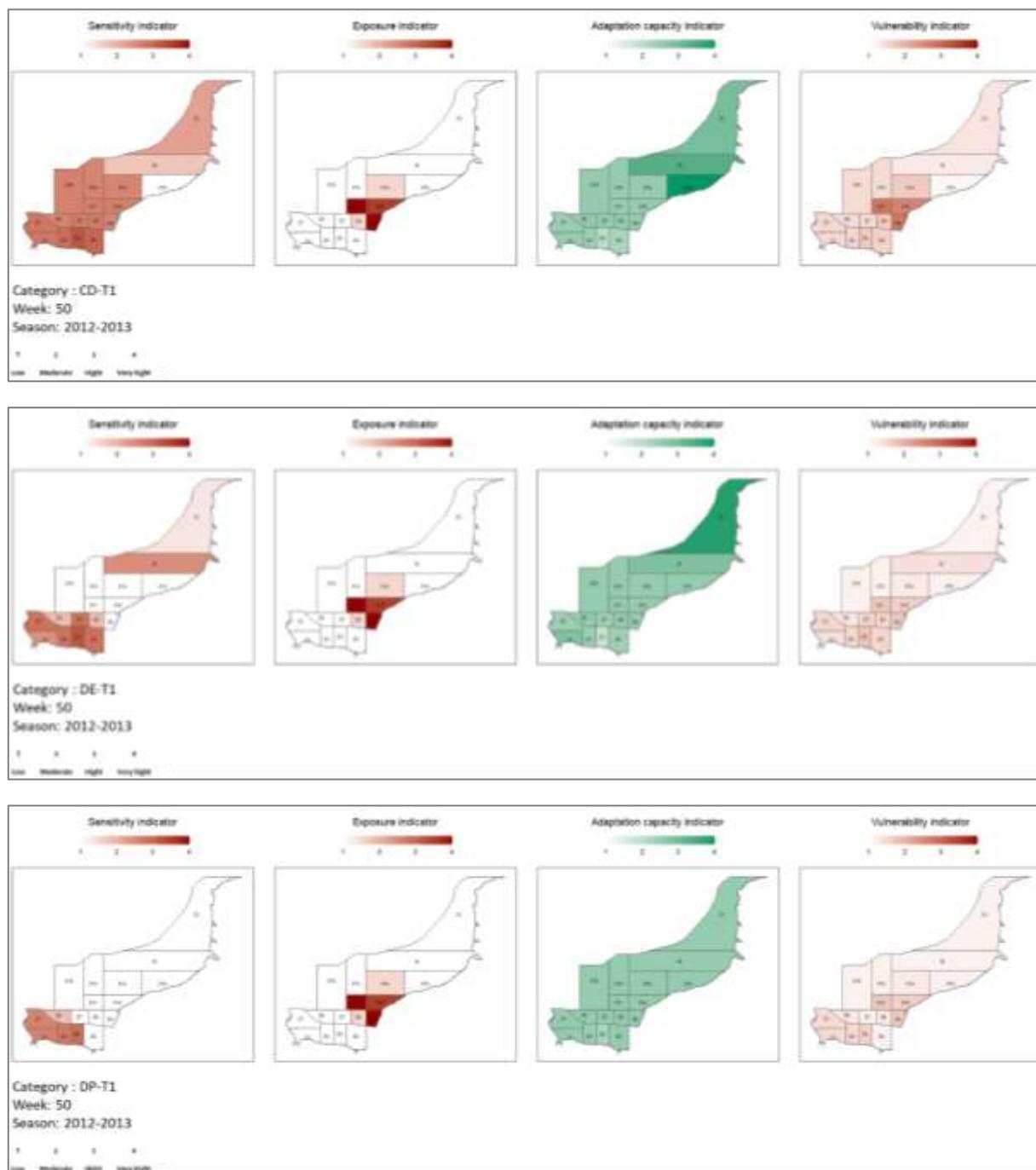


Figure 21. Représentation spatiale des indicateurs de sensibilité, d'exposition, de capacité d'adaptation et de vulnérabilité des flottilles de taille 1 (<15m). Exemple de la semaine 50 de la saison 2012-2013

3.4. Analyse des impacts des HABs sur la productivité

L'analyse de la productivité constitue la deuxième étape de l'évaluation des impacts des HABs sur la pêche de coquilles Saint-Jacques. La productivité est définie comme étant le rapport entre la production et les moyens et ressources (facteurs de production) mis en œuvre pour l'obtenir (Insee, 2016). Elle permet de mesurer la capacité et l'efficacité d'utilisation de ces facteurs de production (Latruffe, 2010). La productivité de la pêche est la production par unité de pêche (catégories de navires), par unité de temps (jours d'activité) et par unité d'espace (zones de production). Cette productivité est liée à plusieurs facteurs : naturels, institutionnels et administratifs mais aussi aux facteurs relatifs aux caractéristiques de l'activité. Par conséquent, toute perturbation ou changement dans ces facteurs influence la productivité. En effet, l'ensemble des mesures et des restrictions mises en œuvre par les administrations en charge de la gestion et en réponse aux occurrences de HABs peut engendrer des pertes d'efficacité et de productivité des flottilles de pêche. Les pertes de productivité de flottilles associées aux restrictions mises en œuvre lors des épisodes de phycotoxicités représentent le deuxième indicateur permettant d'évaluer les impacts des HABs en plus de l'indicateur de vulnérabilité. Elles ont été mesurées en comparant la « productivité normale » des flottilles relative à la productivité en l'absence de HABs avec la productivité dite « impactée » ou « anormale » pendant la période de fermeture des zones de production (données économiques du Système d'Information Halieutique de l'Ifremer).

Ces deux indicateurs, indicateur de vulnérabilité et indicateur de perte de productivité, permettent de caractériser l'activité de pêche à la coquille Saint-Jacques en termes de vulnérabilité des catégories de flottilles et en termes de degré d'impact lié aux HABs, pour ainsi fournir une cartographie descriptive de l'activité et du risque potentiel d'un épisode toxique pour chacun des segments de la flottille. Ces indicateurs spatialisés auront vocation à être intégrés dans le système d'alerte en ligne au regard des risques d'efflorescences.

3.5. Estimation des coûts de gestion et de surveillance des HABs

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. La surveillance et le contrôle représentent la majeure partie des investissements et des efforts de gestion. Cette surveillance est assurée à travers de deux composantes : une composante environnementale dédiée à la surveillance des phytoplanctons (REPHY) et une composante plutôt sanitaire qui concerne la recherche des phycotoxines dans les organismes marins (REPHYTOX). Les coûts liés à la surveillance englobent l'échantillonnage de l'eau et des coquillages, les analyses en laboratoire, ainsi que les dépenses de main d'œuvre, le matériel utilisé, etc.

Sur la base des travaux liés au cycle 2 de l'évaluation économique et sociale de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM), les coûts liés au réseau de suivi des phytoplanctons dans l'environnement marin (REPHY) et au réseau de suivi des phycotoxines marines ont respectivement estimés à 667.954 € et 266.472 € pour la façade Manche Est Mer du Nord (Tableau 3) en plus d'une estimation de 40.689 € qui représente le coût du volet phytoplancton du service d'observation SOMLIT (Mongruel et al. 2019). Ces coûts seront affinés par sous-région et par type (prélèvements, analyses).

Tableau 4. Coûts de gestion et de suivi associés aux réseaux de suivi et d'observation des phytoplanctons et toxines marines (2019)

Total Cost	France	Channel-Northern Sea	Western Channel	Bay of Biscay	Mediterranean
REPHY	3 784 246,63 €	934 426,42 €	1 230 341,75 €	985 517,45 €	633 961,01 €
REPHY <i>environment</i>	2 231 357,99 €	667 954,40 €	651 454,27 €	581 215,08 €	330 734,24 €
REPHY <i>sanitary</i>	574 618,62 €	98 603,20 €	214 206,94 €	149 604,85 €	112 203,64 €
REPHY <i>shellfish</i>	978 270,02 €	167 868,82 €	364 680,54 €	254 697,52 €	191 023,14 €
Total	3 784 246,63 €	934 426,42 €	1 230 341,75 €	985 517,45 €	633 961,01 €

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 de détoxification des coquillages contaminés par les phycotoxines, et 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 afin de diminuer ses éventuels impacts. Les coûts de la recherche sont estimés à 700 000 € pour la sous-région maritime Manche-Mer du Nord (cette estimation inclut également les coûts de recherche concernant les pathogènes microbiens et non seulement les phycotoxines) (Mongruel et al., 2019).

3.6. Impact sur l'aquaculture et la pêche à pied de loisir

L'évaluation des impacts des HABs sur l'activité de l'aquaculture et la pêche à pied de loisir est basée sur des entretiens individuels avec les parties prenantes. Entretiens complémentaires à venir (retard lié au contexte sanitaire covid). Au regard des premières estimations en Manche, il y a eu très peu de contaminations par HAB (Raux et al. 2019). Dès lors, les pêcheurs à pied et les conchyliculteurs sont plus concernés et impactés par les contaminations microbiologiques et confondent souvent cette problématique avec celle des contaminations par phycotoxines. Cela rend ainsi plus difficile l'évaluation de la perception des risques associés aux HAB lorsque cette menace potentielle n'est peu ou pas perçue. La présence d'agents pathogènes viraux d'origine humaine (Norovirus) et les contaminations induites (par exemple les épisodes de décembre 2019 avec 179 suspicions de toxi-infection alimentaire collective sur 7 départements français) peuvent aussi venir créer de la confusion entre contaminations microbiologiques et contaminations par phycotoxines. Une plus grande, voire meilleure, communication sur les contaminations par phycotoxines génère également des craintes de la part des représentants des professionnels (conchyliculture et pêche) vis-à-vis des inquiétudes qui pourraient alors émaner de la part de consommateurs pour la plupart ignorants de l'existence même des contaminations par phycotoxines.

Conclusion : vers un système d'observation intégré des HABs

Cette approche par la vulnérabilité a permis de mieux positionner l'évaluation des impacts liés aux HABs au service de la décision en soulignant la différenciation des impacts au sein des flottilles de pêche et d'adapter les mesures de gestion au plus près des besoins des acteurs. L'index de vulnérabilité ainsi construit est aussi une traduction plus opérationnel de la probabilité d'occurrence des efflorescences algales nuisibles et toxiques fournie par l'outil d'alerte en ligne. Cette probabilité délivrée de manière uniforme à l'ensemble des acteurs est une information sur un risque d'occurrence que tous les acteurs ne peuvent interpréter de façon homogène en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques (facteurs techniques), de leurs habitudes de pêche et donc d'une exposition et d'une sensibilité différentes selon les pêcheurs. La traduction de ce risque vers une vulnérabilité plus individuelle en fonction de l'historique de l'activité et l'exposition spatiale aux HABs est aussi l'intégration des dimensions spatiales et temporelles au service de la gestion des événements HABs et des stratégies d'adaptation et d'atténuation.

L'index de vulnérabilité a donc vocation à intégrer l'outil d'alerte en ligne pour une mise à disposition des parties prenantes. La limite à l'opérationnalisation de cet index repose sur la capacité à interpréter le risque d'efflorescences toxiques en risque de toxicité et donc de fermeture potentielle. Pour la démonstration de l'index le travail a été mis en œuvre sur les séries historiques et observées de fermetures. Face à la difficulté du suivi historique et à l'absence de centralisation des fermetures historiques, une estimation du nombre de fermetures a été réalisée et publiée (Chenouf *et al.*, 2020) sur la base des données des réseaux de suivi et de surveillance (REPHY et REPHYTOX). Le calibrage entre données observées et simulées a fortement progressé par l'identification et l'explication – souvent sociale ou par mesures de précaution – des différences qui avaient pu être observées. Cette simulation permettra l'interprétation en temps réel du risque de HABs en termes de vulnérabilité, sous la condition de capacité de l'outil d'alerte en ligne à proposer un risque de toxicité attaché au risque d'efflorescences.

L'approche de vulnérabilité est transférable et reproductible sur toutes autres espèces et espaces. Elle est une première étape vers un système d'observation intégré des HABs par l'intégration des dimensions socio-économiques et de la gouvernance dans l'observation traditionnelle par le développement d'une approche système. Pour de futurs développements cela ouvre la voie des champs des possibles, notamment par les apports de l'Intelligence Artificielle pour une meilleure compréhension des processus aboutissant à des efflorescences toxiques et à des observatoires plus intégrés des HABs.

Bibliographie

- Adams, C. M., & Larkin, S. L. (2013). *Economics of Harmful Algal Blooms*: 35.
- Anderson, D. M., Hoagland, P., Kaoru, Y., & White, A. W. (2000). *Estimated annual economic impacts from harmful algal blooms (HABs) in the United States*. Woods Hole Oceanographic Institution. <https://doi.org/10.1575/1912/96>
- Bauer, M., Hoagland, P., Leschine, T. M., Blount, B. G., Pomeroy, C. M., Lampl, L. L., Scherer, C. W., Ayres, D. L., Tester, P. A., Sengco, M. R., Sellner, K. G., & Schumacker, J. (2010). The importance of human dimensions research in managing harmful algal blooms. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8(2), 75-83. <https://doi.org/10.1890/070181>
- Berdalet, E., Fleming, L. E., Gowen, R., Davidson, K., Hess, P., Backer, L. C., Moore, S. K., Hoagland, P., & Enevoldsen, H. (2016). Marine harmful algal blooms, human health and wellbeing : Challenges and opportunities in the 21st century. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 96(1), 61-91. <https://doi.org/10.1017/S0025315415001733>
- Bernard, S., Kudela, R., & Velo-Suárez, L. (2014). *Developing global capabilities for the observation and prediction of harmful algal blooms* (p. 46-52).
- Chenouf, S. (2018). *Caractérisation des impacts des efflorescences algales nuisibles en Manche. Application au cas de la pêche de coquilles Saint-Jacques de la Manche Est*. 67.
- Chenouf, S., Merzereaud, M., Perez, J., & Raux, P. (2020). *Determination of scallop production areas closures due to phycotoxins along the Eastern English Channel using data from REPHY and REPHYTOX monitoring networks* [Data set]. SEANOE. <https://doi.org/10.17882/71912>
- Dyson, K., & Huppert, D. D. (2010). Regional economic impacts of razor clam beach closures due to harmful algal blooms (HABs) on the Pacific coast of Washington. *Harmful Algae*, 9(3), 264-271. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2009.11.003>
- Ekstrom, J. A., Moore, S. K., & Klinger, T. (2020). Examining harmful algal blooms through a disaster risk management lens : A case study of the 2015 U.S. West Coast domoic acid event. *Harmful Algae*, 94, 101740. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2020.101740>
- Evans, G., & Jones, L. (2001). *Texas Parks and Wildlife State of Texas*. 53.
- Foucher, E. (2013). *Evaluation annuelle du stock de coquilles Saint-Jacques de la baie de Seine : Résultats de la campagne COMOR 43 (3 au 24 juillet 2013)* [Pdf]. Ifremer. <https://doi.org/10.13155/26890>
- Fritzsche, K., Schneiderbauer, S., Bubeck, P., Kienberger, S., Buth, M., Zebisch, M., & Kahlenborn, W. (2015). *Guide de référence sur la vulnérabilité—Concept et lignes directrices pour la conduite d'analyses de vulnérabilité standardisées*. Ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ), Mission « Climat ». https://www.adaptationcommunity.net/?wpfb_dl=262

- Gameren, V. V., Weikmans, R., & Zaccai, E. (2014). II. Dimensions sociales du risque climatique, dans : « L'adaptation au changement climatique ». In *Reperes* (p. 23-38). La Découverte. <https://www.cairn.info/l-adaptation-au-changement-climatique--9782707174697-page-23.htm>
- Hoagland, P., Anderson, D. M., Kaoru, Y., & White, A. W. (2002). The economic effects of harmful algal blooms in the United States: Estimates, assessment issues, and information needs. *Estuaries*, 25(4), 819-837. <https://doi.org/10.1007/BF02804908>
- Hoagland, P., & Scatista, S. (2006). The Economic Effects of Harmful Algal Blooms. In E. Granéli & J. T. Turner (Éds.), *Ecology of Harmful Algae* (p. 391-402). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-32210-8_30
- Hoagland, Porter, Jin, D., Polansky, L. Y., Kirkpatrick, B., Kirkpatrick, G., Fleming, L. E., Reich, A., Watkins, S. M., Ullmann, S. G., & Backer, L. C. (2009). The Costs of Respiratory Illnesses Arising from Florida Gulf Coast *Karenia brevis* Blooms. *Environmental Health Perspectives*, 117(8), 1239-1243. <https://doi.org/10.1289/ehp.0900645>
- Holland, D. S., & Leonard, J. (2020). Is a delay a disaster? Economic impacts of the delay of the california dungeness crab fishery due to a harmful algal bloom. *Harmful Algae*, 98, 101904. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2020.101904>
- Insee. (2016). *Définition—Productivité* / Insee. <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1452>
- Jardine, S. L., Fisher, M. C., Moore, S. K., & Samhoury, J. F. (2020). Inequality in the Economic Impacts from Climate Shocks in Fisheries: The Case of Harmful Algal Blooms. *Ecological Economics*, 176, 106691. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106691>
- Kim, H. G. (2006). Mitigation and Controls of HABs. In E. Granéli & J. T. Turner (Éds.), *Ecology of Harmful Algae* (p. 327-338). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-32210-8_25
- Kudela, R. M., Bickel, A., Carter, M. L., Howard, M. D. A., & Rosenfeld, L. (2015). The Monitoring of Harmful Algal Blooms through Ocean Observing. In *Coastal Ocean Observing Systems* (p. 58-75). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802022-7.00005-5>
- Lassus, P., Chomerat, N., Hess, P., & Nezan, E. (2016). Micro-algues toxiques et nuisibles de l'océan mondial. COI Manuels et Guides, 68 / Toxic and Harmful Microalgae of the World Ocean. IOC Manuals and Guides, 68. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00379/49054/>
- Latruffe, L. (2010). *Compétitivité, productivité et efficacité dans les secteurs agricole et agroalimentaire*. OECD. <https://doi.org/10.1787/5km91nj6929p-fr>
- Lewitus, A. J., Horner, R. A., Caron, D. A., Garcia-Mendoza, E., Hickey, B. M., Hunter, M., Huppert, D. D., Kudela, R. M., Langlois, G. W., Largier, J. L., Lessard, E. J., RaLonde, R., Jack Rensel, J. E., Strutton, P. G., Trainer, V. L., & Tweddle, J. F. (2012). Harmful algal blooms along the North American west coast region: History, trends, causes, and impacts. *Harmful Algae*, 19, 133-159. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2012.06.009>

- Lucas, K. M., Larkin, S. L., & Adams, C. M. (2010). *Willingness-to-Pay for Red Tide Prevention, Mitigation, and Control Strategies: A Case Study of Florida Coastal Residents*. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.56498>
- Martino, S., Gianella, F., & Davidson, K. (2020). An approach for evaluating the economic impacts of harmful algal blooms : The effects of blooms of toxic *Dinophysis* spp. on the productivity of Scottish shellfish farms. *Harmful Algae*, 99, 101912. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2020.101912>
- Mongruel R., Bailly D. & Jacob C. (coord.), 2019. Analyse économique et sociale – Sous-région marine Manche Est – Mer du Nord. Rapport scientifique pour l'évaluation initiale 2018 au titre de la Directive-cadre Stratégie pour le milieu marin, Ifremer – Université de Bretagne Occidentale, 373 pages + Annexes.
- Moore, S. K., Cline, M. R., Blair, K., Klinger, T., Varney, A., & Norman, K. (2019). An index of fisheries closures due to harmful algal blooms and a framework for identifying vulnerable fishing communities on the U.S. West Coast. *Marine Policy*, 110, 103543. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103543>
- Moore, S. K., Dreyer, S. J., Ekstrom, J. A., Moore, K., Norman, K., Klinger, T., Allison, E. H., & Jardine, S. L. (2020). Harmful algal blooms and coastal communities : Socioeconomic impacts and actions taken to cope with the 2015 U.S. West Coast domoic acid event. *Harmful Algae*, 96, 101799. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2020.101799>
- Morgan, K. L., Larkin, S. L., & Adams, C. M. (2009). Firm-level economic effects of HABS : A tool for business loss assessment. *Harmful Algae*, 8(2), 212-218. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2008.05.002>
- Morgan, K. L., Larkin, S. L., & Adams, C. M. (2010). Red tides and participation in marine-based activities : Estimating the response of Southwest Florida residents. *Harmful Algae*, 9(3), 333-341. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2009.12.004>
- Nierenberg, K., Kirner, K., Hoagland, P., Ullmann, S., LeBlanc, W. G., Kirkpatrick, G., Fleming, L. E., & Kirkpatrick, B. (2010). Changes in Work Habits of Lifeguards in Relation to Florida Red Tide. *Harmful algae*, 9(4), 419-425. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2010.02.005>
- NOAA. (2019). *Hitting us where it hurts : The untold story of harmful algal blooms | NOAA Fisheries* (West Coast). NOAA. <https://www.fisheries.noaa.gov/west-coast/science-data/hitting-us-where-it-hurts-untold-story-harmful-algal-blooms>
- Pérez Agúndez JA, Chenouf S, Raux P. Addressing the Governance of Harmful Algal Bloom Impacts: A Case Study of the Scallop Fishery in the Eastern French Coasts of the English Channel. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2022; 10(7):948. <https://doi.org/10.3390/jmse10070948>
- Pérez Agúndez, J. A., Yimam, E., Raux, P., Rey-Valette, H., & Girard, S. (2014). Modeling economic vulnerability : As applied to microbiological contamination on the Thau Lagoon shellfish farming industry. *Marine Policy*, 46, 143-151. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2014.01.013>

- Paul, C., Tilstone, G., Gohin, F., Raux, P., Pérez Agúndez, J. A., Chenouf, S. & Hernández-Fariñas, T. (2020). Paramètres permettant d'améliorer la productivité et l'efficacité des activités de pêche et de conchyliculture. Deliverable T2.2.1, S-3 EUROHAB Interreg project - Sentinel products for detecting EUtROphication and Harmful Algal Bloom events, 30p.
- Pettersson, L. H., & Pozdnyakov, D. (2013). *Monitoring of Harmful Algal Blooms*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-68209-7>
- Raux, P., Pérez Agúndez, J.A. and Chennouf, S. 2019. Report on perceptions of HABs and requirements for a Web alert system, Rapport sur la perception des HABs et exigences pour un système d'alerte en ligne ; Deliverable 3.2.1, S-3 EUROHAB Interreg project - Sentinel products for detecting EUtROphication and Harmful Algal Bloom events, 41p.
- Ralston, E. P., Kite-Powell, H., & Beet, A. (2011). An estimate of the cost of acute health effects from food- and water-borne marine pathogens and toxins in the USA. *Journal of Water and Health*, 9(4), 680-694. <https://doi.org/10.2166/wh.2011.157>
- Ritzman, J., Brodbeck, A., Brostrom, S., McGrew, S., Dreyer, S., Klinger, T., & Moore, S. K. (2018). Economic and sociocultural impacts of fisheries closures in two fishing-dependent communities following the massive 2015 U.S. West Coast harmful algal bloom. *Harmful Algae*, 80, 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2018.09.002>
- Sanseverino, I., Conduto, D., Pozzoli, L., Dobricic, S., Lettieri, T., European Commission, & Joint Research Centre. (2016). *Algal bloom and its economic impact*. Publications Office. <http://bookshop.europa.eu/uri?target=EUB:NOTICE:LBNA27905:EN:HTML>
- Smit, B., & Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), 282-292. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008>
- Smith, J. B., Schellnhuber, H.-J., & Mirza, M. M. Q. (s. d.). *Vulnerability to Climate Change and Reasons for Concern : A Synthesis*. 56.
- Taylor, T., & Longo, A. (2009). *Valuation of Marine Ecosystem Threshold Effects : Application of Choice Experiments to Value Algal Bloom in the Black Sea Coast of Bulgaria*. 25.
- Todd, E. C. D. (1995). Estimated costs of paralytic shellfish, diarrhetic shellfish and ciguatera poisoning in Canada. In *Harmful marine algal blooms* (p. 831-834). Lavoisier Pub. ; Intercept.
- Trainer, V. L. (2020). *GlobalHAB: Evaluating, Reducing and Mitigating the Cost of Harmful Algal Blooms : A Compendium of Case Studies* (PICES Scientific Reports N° 59; p. 104). <https://meetings.pices.int/publications/scientific-reports/Report59/Rpt59.pdf>
- Trainer, V. L., Kudela, R. M., Hunter, M. V., Adams, N. G., & McCabe, R. M. (2020). Climate Extreme Seeds a New Domoic Acid Hotspot on the US West Coast. *Frontiers in Climate*, 2. <https://doi.org/10.3389/fclim.2020.571836>
- Trainer, V. L., & Yoshida, T. (2014). *Proceedings of the Workshop on Economic Impacts of Harmful Algal Blooms on Fisheries and Aquaculture* (PICES Scientific Report N° 47).

- Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J. X., Luers, A., Martello, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A., & Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8074-8079. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>
- van den Bergh, J. C. J. M., Nunes, P. A. L. D., Dotinga, H. M., Kooistra, W. H. C. F., Vrieling, E. G., & Peperzak, L. (2002). Exotic harmful algae in marine ecosystems : An integrated biological–economic–legal analysis of impacts and policies. *Marine Policy*, 26(1), 59-74. [https://doi.org/10.1016/S0308-597X\(01\)00032-X](https://doi.org/10.1016/S0308-597X(01)00032-X)
- White, P., Pelling, M., Sen, K., Seddon, D., Russell, S., & Few, R. (2005). *Disaster risk reduction : A development concern* (p. 74).