



**HAL**  
open science

# Diagnostic de l'état de la pêcherie de Manche Orientale en intégrant la perception des pêcheurs

Nicolas Andrialovanirina

► **To cite this version:**

Nicolas Andrialovanirina. Diagnostic de l'état de la pêcherie de Manche Orientale en intégrant la perception des pêcheurs. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03562540

**HAL Id: dumas-03562540**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03562540v1>**

Submitted on 9 Feb 2022

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

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

AGROCAMPUS OUEST

CFR Angers  CFR Rennes

<p>Année universitaire : 2020-2021</p> <p>Spécialité : Ingénieur agronome</p> <p>Spécialisation (et option éventuelle) : Sciences halieutiques et aquacoles (Ressources et écosystèmes aquatiques)</p>	<p><b>Mémoire de fin d'études</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur d'AGROCAMPUS OUEST (École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage), école interne de L'institut Agro (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de master d'AGROCAMPUS OUEST (École nationale supérieure des sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage), école interne de L'institut Agro (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de Montpellier SupAgro (étudiant arrivé en M2)</p> <p><input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)</p>
--	--

## Diagnostic de l'état de la pêcherie de Manche Orientale en intégrant la perception des pêcheurs

Par : Nicolas ANDRIALOVANIRINA

*Soutenu à Rennes le 15/09/2021*

**Devant le jury composé de :**

Président (Enseignant référent) : Olivier Le Pape  
Maître de stage : Ghassen Halouani (Ifremer) et  
Delphine Roccin (FROM Nord)

Autres membres du jury :

*Jean-Eudes Beuret (Enseignant chercheur à  
Agrocampus Ouest)*

*François Le Loc'h (Chercheur en écologie  
marine à l'IRD)*

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



Ce document est soumis aux conditions d'utilisation

« Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France »

disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>

*« On fait la science avec des faits, comme on fait une maison avec des pierres : mais une accumulation de faits n'est pas plus une science qu'un tas de pierres n'est une maison. »*  
Henri Poincaré, 1902.

Tout comme cette citation, ce travail n'aurait pas pu voir le jour et être mené à terme sans l'aide, les idées, et les contributions de quelques personnes auxquelles je tiens profondément à exprimer ma grande gratitude.

J'aimerais apporter mes considérables reconnaissances à mes encadrants : Delphine, Ghassen et Loeiza. Merci pour tous vos conseils, vos encadrements, votre temps et surtout les grandes contributions que vous avez apportées dans ce travail. Vous m'avez permis de réaliser ce mémoire, mais vous m'avez fait progresser dans mes expériences en entreprise et en laboratoire de recherche grâce à vos orientations et vos instructions.

Je tiens à remercier toute l'équipe du FROM Nord également de m'avoir accueilli et de m'aider à la réalisation de ce stage. Merci Françoise, pour les conseils et les documentations que tu m'as proposés. Merci Christophe, pour le temps que tu m'as consacré malgré tes occupations, merci d'avoir facilité les contacts avec les pêcheurs et les bons moments que l'on a passé sur le terrain. Une grande gratitude pour mes collègues Clara et Solène pour vos conseils et encouragements.

Je remercie l'équipe de l'Ifremer Boulogne-sur-Mer pour votre accueil et vos précieux conseils lors de la réalisation de ce travail. Merci Maysa pour ta disponibilité et tes réponses aux questions que j'avais sur les indicateurs.

Une pensée pour tous les enseignants-chercheurs de l'Agrocampus ouest qui ont donné le maximum pour transmettre leurs connaissances durant ma formation.

Je tiens à remercier Amadou, Marc et Tiana pour leur soutien durant mes études en France. Merci à Campus France également d'avoir financé mes premières années d'études.

Je n'oublierai jamais toute ma famille qui m'a éduqué et soutenu tout ce temps. Merci pour tous vos soutiens. Merci Maman, merci Kevin, merci Vatosoa.

Je remercie tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à ce travail. À tous et à toutes merci infiniment.

## Table des matières

1	Introduction.....	1
2	Matériel et méthode .....	3
2.1	Zone d'étude : Manche Orientale.....	3
2.2	Analyse des changements de régimes dans les données de captures et de l'effort de pêche .....	4
2.2.1	Données de capture et de l'effort de pêche .....	4
2.2.2	Changements de régime .....	4
2.2.3	Le package R Multiple Change Points .....	6
2.3	Evaluation de la perception des pêcheurs de l'état de la pêcherie .....	7
2.3.1	Échantillonnage des pêcheurs .....	7
2.3.2	Le questionnaire .....	7
2.4	OSMOSE .....	8
2.4.2	Le modèle OSMOSE .....	9
2.4.3	Application du modèle OSMOSE en Manche Orientale .....	11
2.4.4	Plan de simulation .....	11
2.4.5	Les indicateurs.....	12
3	Résultats.....	14
3.1	Diagnostic de l'état de la pêcherie .....	14
3.1.1	Changement de régime par espèce .....	14
3.1.2	Changement de régime par flottille .....	15
3.2	Perception des pêcheurs.....	18
3.2.1	Adaptation des pêcheurs.....	18
3.2.2	Perception des pêcheurs sur l'abondance des ressources exploitées.....	18
3.2.3	Spatialisation des perceptions des pêcheurs.....	19
3.2.4	Perception des pêcheurs sur les interactions entre espèces .....	21
3.2.5	Menaces sur la pêche.....	22
3.3	OSMOSE Manche Orientale .....	23
3.3.1	Réponse potentielle des poissons plats à différentes stratégies de pêche.....	23
3.3.2	Indicateur d'espèce clé de voûte (Keystone index) .....	27
3.3.3	Interactions entre espèces dans le modèle OSMOSE .....	28
4	Discussions .....	29
4.1	Diagnostic de l'état de la pêcherie .....	29
4.1.1	Diminution d'une grande partie des ressources exploitées .....	29
4.1.2	Augmentation de quelques espèce de mollusques et de l'araignée de mer .....	30
4.1.3	Les interactions entre espèces.....	31
4.2	Limites et perspectives de l'étude .....	31

5 Conclusion.....	33
Bibliographie.....	34

## Liste des figures

Figure 1 : Carte de la Manche Orientale représentant la zone d'étude : division VIId et les deux rectangles statistiques 31F1 et 31F2 au sud de la Mer du Nord, les ports d'enquête et la grille du modèle OSMOSE.....	3
Figure 2 : Tests des packages R de point de changement sur 3 000 séries. La 10ème année correspond au point de changement. ....	6
Figure 3 : Exemple d'identification de point de changement par mcp avec la série de capture des tacauds communs. Les lignes grises sur la figure à gauche montrent les différentes simulations de modèles. Les lignes bleues sur la figure à droite présentent les distributions postérieures du point de changement (chaque ligne représente une simulation). Le point de changement se trouve donc entre 2012 et 2013. Le script R utilisé dans cette étude pour calculer les points de changement est présenté en annexe 1.....	6
Figure 4 : Principe de fonctionnement (a) et aperçu (b) du questionnaire en macro Excel. Il y a plusieurs boutons qui ajoutent les réponses de chaque partie des questions dans des bases de données spécifiques à chaque partie avec l'identifiant du pêcheur à chaque fois. La réponse à la question 4 va mener soit la question a ou soit la question b.....	8
Figure 5 : Description schématique des principaux processus dans le modèle OSMOSE .....	9
Figure 6 : Distribution des espèces cibles par flottilles.....	12
Figure 7 : Changement de régime des captures des 20 principales espèces exploitées en Manche Orientale (entre 2000-2019). La couleur montre la direction du changement (rouge : point de changement en baisse, bleu : point de changement en augmentation). La taille des carrés est proportionnelle aux captures de l'espèce. ....	14
Figure 8 : Changement de régime des captures par zone (des 20 principales espèces exploitées en Manche Orientale entre 2000-2019). Les couleurs correspondent aux années de changement, le signe (+) correspond à une augmentation des captures et le signe (—) à une diminution. ....	15
Figure 9 : Points de changement des captures (a) et des efforts de pêche (b) par flottille. Les captures représentent les 20 principales espèces exploitées en Manche Orientale entre 2000 et 2019. La couleur correspond à la direction et l'intensité du changement (rouge : point de changement en diminution, bleu : point de changement en augmentation). La taille des carrés est proportionnelle aux captures et l'effort par flottille. ....	16
Figure 10 : Points de changement des captures (a) et des efforts de pêches (b) par zone. Les couleurs correspondent à l'année de changement, les signes (+) correspondent à une augmentation des captures ou de l'effort de pêche et les signes (—) à une baisse des captures ou de l'effort de pêche.....	17
Figure 11 : Évolution des engins utilisés par les pêcheurs interrogés dans le temps, la couleur correspond à l'année de changement. ....	18
Figure 12 : Perception des pêcheurs par rapport à l'abondance des ressources exploitées. Les perceptions sont représentées par des points et regroupent l'intervalle de 5 années. Les lignes noires représentent les captures observées dans les données SACROIS, et les lignes rouges les quotas initiaux français.....	19
Figure 13 : Perception des pêcheurs sur l'apparition d'espèce. L'opacité de la couleur d'un rectangle statistique (de rouge clair à foncé) représente le nombre de pêcheurs ayant la même perception de l'apparition de l'espèce sur ce rectangle. Les contours des carrés statistiques	

affichent les années où ils perçoivent l'apparition (dans le cas où les pêcheurs mentionnent des années différentes sur un même rectangle, l'année la plus représentative des avis a été affichée sur la figure).....	20
Figure 14 : Perception des pêcheurs sur la disparition d'espèce. L'opacité de la couleur d'un rectangle statistique (de rouge clair à foncé) représente le nombre de pêcheurs ayant la même perception de la disparition de l'espèce sur ce rectangle. Les contours des carrés statistiques affichent les années où ils perçoivent la disparition (dans le cas où les pêcheurs mentionnent des années différentes sur un même rectangle, l'année la plus représentative des avis a été affichée sur la figure).....	20
Figure 15 : Perception des pêcheurs sur l'augmentation d'espèce. L'opacité de la couleur d'un rectangle statistique (de rouge clair à foncé) représente le nombre de pêcheurs ayant la même perception de la forte augmentation de l'espèce sur ce rectangle. Les contours des carrés statistiques affichent les années où ils perçoivent l'augmentation (dans le cas où les pêcheurs mentionnent des années différentes sur un même rectangle, l'année la plus représentative des avis a été affichée sur la figure). .....	21
Figure 16 : Représentation des impacts trophiques mixtes perçue par les pêcheurs. L'opacité des couleurs montre si l'avis est partagé par plusieurs pêcheurs (plus les couleurs sont foncées plus l'avis est représentatif). * espèces dans le modèle OSMOSE. ....	22
Figure 17 : Perception des pêcheurs sur les menaces qui pèsent sur leur activité de pêche (à court et moyen terme, ainsi que sur les poissons plats). *la pression de pêche est représentée à 90 % par la senne danoise. ....	23
Figure 18 : Changement de la biomasse de la plie (a) et de la sole (b) en fonction des multiplicateurs de mortalité par pêche appliqués sur les autres espèces. La couleur représente les multiplicateurs de mortalité par pêche (de 0 à 2).....	24
Figure 19 : Changement du niveau trophique de la plie (a) et de la sole (b) en fonction des multiplicateurs de mortalité par pêche appliqués sur les autres espèces du réseau trophique. La couleur représente les multiplicateurs de mortalité par pêche (de 0 à 2). ....	25
Figure 20 : Changement de la biomasse de la plie (a) et de la sole (b) en fonction des multiplicateurs de mortalité par pêche appliqués sur les mortalités par pêche par flottille. La couleur représente les multiplicateurs de mortalité par pêche (de 0 à 2). ....	26
Figure 21 : Changement du niveau trophique de la plie (a) et de la sole (b) en fonction des multiplicateurs de mortalité par pêche appliqués sur les mortalités par pêche par flottille. La couleur représente les multiplicateurs de mortalité par pêche (de 0 à 2). ....	27
Figure 22 : Espèces clés de voûte selon le modèle OSMOSE. Le modèle OSMOSE étant stochastique, 15 simulations ont été réalisées. De ce fait, chaque diagramme en boîte représente ces 15 simulations. ....	27
Figure 23 : Impacts trophiques mixtes calculés à partir des sorties du modèle OSMOSE. * espèces non exploitées.....	28

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Différents packages de point de changement.....	5
Tableau 2 : Indicateurs utilisés pour explorer les résultats du modèle OSMOSE .....	14

## Liste des annexes

annexe 1 : Modèle plateau à un seul l'intercept et avec modification de variance.....	i
annexe 2 : Représentation de l'échantillon de l'enquête par rapport aux adhérents totales du FROM Nord. ....	i
annexe 3 : Le questionnaire. CA : chiffre d'affaire. ....	i
Annexe 4 : Paramètres d'entrée des 14 espèces appliqués aux modèles OSMOSE en Manche Orientale (Travers-Trolet et al., 2019). Tous ces paramètres émanent de la littérature sauf $M_{oth}$ , $F$ et $M_L$ qui ont été calibrés. $L_\infty$ , $K$ et $t_0$ sont les paramètres de croissance de von Bertalanffy cependant ils ne sont appliqués qu'à partir de l'âge $a_{th}$ . $c$ est une constante fonction des unités et $b$ le coefficient d'allométrie correspondant aux conversions de la relation taille-poids. $L_{mat}$ représente la taille à la maturité, $\phi$ la fécondité relative et $a_{max}$ la longévité de l'espèce. $F$ correspond à la mortalité par pêche, $a_{rec}$ l'âge de recrutement, $M_{oth}$ est un taux de mortalité additionnel reflétant de la prédation d'autre espèce de l'écosystème (non modélisé), $M_{\xi max}$ le taux maximum de mortalité par famine et $M_L$ la mortalité larvaire. $R_{min}$ et $R_{max}$ représentent les ratios taille prédateur/proie, $C_{SR}$ le taux de réussite critique de prédation et le taux max ingestion correspond au taux maximal d'ingestion d'un prédateur par année et par son poids. * En dessous et en dessus de 12 cm respectivement.....	iii
Annexe 5 : Saisonnalité de la reproduction, exprimée en proportion. ....	iv
Annexe 6 : Paramètres des groupes de bas niveau trophique avec OSMOSE (Travers-Trolet et al., 2019). Le niveau trophique a été dérivé de l'étude de Kopp et al. (2015). ....	iv

## 1 Introduction

La Manche Orientale est considérée comme une zone à forte pression anthropique (Dauvin, 2011 ; Baux et al., 2017). À titre d'exemple, d'importantes sources de pollution y sont remarquées, la baie de Seine faisant partie d'un des estuaires les plus contaminés en Europe nord-occidental (Dauvin, 2008 ; Amara, 2011) ; et des activités d'extraction de granulats y sont également distinguées (Dauvin & Lozachmeur, 2006). Cependant, la pêche est l'activité qui exerce une grande pression sur cette zone (Carpentier et al., 2009; ICES, 2017a). De plus, dans l'écosystème marin, il a été démontré par Worm et al. (2006), que la pêche est un facteur très impactant de ce dernier. En effet, la pêche a causé des changements notables dans la structure et le fonctionnement du réseau trophique de la Manche (ICES, 2020a).

La Manche Orientale présente une pêcherie très diversifiée, elle est considérée comme une pêcherie mixte, multi spécifique et multi engins (Lehuta et al., 2015). Une large communauté d'espèce commerciale y est présente grâce aux diversités d'habitats (Vaz et al., 2007 ; Carpentier et al., 2009). Cette diversité d'espèce a fait développer la pêcherie en Manche Orientale ; et les années 90 se sont démarquées par une surexploitation des ressources halieutiques avec l'amélioration de l'efficacité des techniques et engins de pêche (Lemoine & Giret, 1991). L'écorégion Mer du Nord a vu alors la diminution conséquente des nombres des organismes de grande taille à cause d'une forte pression de pêche (ICES, 2017a).

Pour remédier à cela, la Politique Commune de la Pêche (PCP) a été révisée dans l'objectif de gérer les stocks au Rendement Maximal Durable (RMD) et améliorer l'état des stocks exploités. Ces dernières années, la rentabilité d'un grand nombre de flottes commerciales a ainsi augmenté en raison de l'amélioration de l'état de nombreux stocks de poissons et de l'efficacité des engins de pêche (ICES, 2017a).

Cependant, pour certaines espèces leurs captures sont en baisses malgré les efforts de gestion mise en œuvre. Depuis 2013, les captures de soles (*Solea solea* ou sole commune) ont diminué en Manche Orientale. Le projet SMAC (2015-2020) a été mis en place suite à ce constat pour apporter des explications à la diminution du stock. En effet, des baisses successives du Total Autorisé de Captures (TAC) ont été observées. Selon le FROM Nord (une organisation de producteurs), la sole commune ne représente plus que 8,5 % du chiffre d'affaires de leurs adhérents et se situe en sixième place des espèces les plus valorisées en 2019, alors qu'elles étaient longtemps en première place (34 % des chiffres d'affaires de leurs adhérents en 2014). En réponse à cette diminution, plusieurs mesures de gestion ont été mises en place en plus des TACs par exemple : i/la réglementation sur la taille des filets à 1 km (annexe IV arrêtée ministérielle 2016) ; ii/ la réglementation sur la taille des captures supérieures à 24 cm (annexe V/VI règlement n° 2019/1241) et iii/la protection des zones de nurserie de la sole commune (interdiction de pêche sur la bande des 3 milles de ces zones). Pourtant les captures étaient toujours en baisses en VIId jusqu'en 2020 (WGNSSK, 2021). Ce constat de diminution des captures a été relevé pour d'autres espèces de poissons plats exploités en Manche Orientale, notamment la plie et la limande.

Afin de mieux gérer les ressources, les recommandations des scientifiques visent à une gestion multi spécifique des pêches (ICES, 2017a, 2020b). En effet, la pêche a des impacts sur différentes composantes de l'écosystème, il est donc nécessaire de considérer la gestion de la pêche d'une façon globale (Pikitch et al., 2004 ; Link, 2005). Ce concept a été caractérisé comme étant l'Approche Écosystémique des Pêches (AEP) qui marque une rupture avec la gestion traditionnelle des pêches (stock par stock) (Champagnat, 2018). Cette dernière a montré ses limites notamment, car elle ne prenait pas en compte les espèces non exploitées, les relations trophiques et les facteurs environnementaux qui interagissent avec l'espèce d'intérêt (Pikitch et al., 2004 ; Cury et al., 2005).

Pour représenter l'écosystème dans son ensemble, l'AEP doit prendre en compte différentes interactions dans ce système, notamment les interactions intraspécifiques, interspécifiques ainsi que les impacts de la pêche sur les différents compartiments de l'écosystème. La simulation de l'écosystème dans sa globalité est une manœuvre complexe, dont plusieurs

incertitudes y sont encore discutées. Alors Funtowicz et Ravetz (2003) ont suggéré d'apporter des connaissances transdisciplinaires pour pallier cette problématique, à l'exemple de l'intégration des connaissances de pêcheurs dans le modèle Ecopath par Bentley (2020). D'autres études ont également utilisé les connaissances des pêcheurs sur les régimes alimentaires des poissons pour soutenir la prise de décision dans la gestion de la pêche ; les connaissances des pêcheurs montrant souvent un degré élevé de concordance avec la littérature scientifique (Silvano & Begossi, 2012 ; Ramires et al., 2015).

La perception des pêcheurs sur l'état des ressources pourrait donc fournir de nouveaux apports de connaissance sur l'AEP en Manche Orientale. Pour ce faire, l'étude a été structurée autour de trois grands axes : i/analyse des données de production et d'effort de pêche, ii/enquêtes sur la perception des pêcheurs et iii/modélisation écosystémique : le modèle OSMOSE. Mettre en parallèle ces trois approches pourrait aider à mieux comprendre la dynamique des pêcheries de la Manche Orientale dans un cadre écosystémique.

## 2 Matériel et méthode

### 2.1 Zone d'étude : Manche Orientale

La Manche Orientale (figure 1) présente une surface d'environ 37 000 km<sup>2</sup>, elle est délimitée par les côtes françaises au sud-est et les côtes britanniques au nord-ouest (Carpentier et al., 2009). Elle représente des eaux de profondeur moyenne de 54 m (figure 1), avec de grands apports de sédiments venant des divers estuaires (le bassin Artois-Picardie se déverse des Hauts-de-France : sur l'estuaire de l'Aa, la Liane, la baie de la Canche, la baie de l'Authie et la baie de Somme ; ou le bassin de Seine-Normandie : au niveau de l'estuaire de la Seine, la Dives, l'Orne, la Seulles, et la baie des Veys). Elle est également constituée à la fois de zone de passage obligatoire pour la migration (entre Atlantique et Mer du Nord), des zones d'alimentation, de frayère, mais également de zone de nurricerie grâce à ses divers estuaires qui représentent des hot spots (Carpentier et al., 2009). Par cette diversité d'habitat, la Manche Orientale conditionne l'installation d'un assemblage différent d'espèce (Vaz et al., 2007). Quatre groupes de communautés d'espèces ont été observés par Vaz et al. (2007) comme dominant dans cette zone (un groupe constitué principalement d'élaémobranche ; un groupe composé essentiellement de maquereau et de dragonnet ; et un troisième groupe représenté particulièrement par le calmar ; le dernier groupe se constitue davantage de poissons plats).

La zone est fortement anthropisée d'une part par la pêche, avec 128 navires en actifs pour la région des Hauts-de-France (SIH, 2019a) et 599 navires pour la région de la Normandie (SIH, 2019b). Toutefois, l'effort de pêche a été diminué depuis 2003 avec la réforme de la PCP qui vise à augmenter l'abondance des gros poissons. Mais la pêche a déjà changé la structure de la communauté de poissons et les réseaux trophiques de l'écorégion Mer du Nord (ICES, 2020a). Des efforts ont été réalisés et la majorité des stocks sont exploités aux RMD (ICES, 2017a). D'autre part, diverses pressions comme le transport maritime, l'extraction de granulats exercent diverses pressions anthropiques sur la zone. D'ailleurs, dans l'objectif d'atteindre 40 % d'électricité renouvelable à l'horizon 2030 (loi n° 2015-992 du 17 août 2015), 3 projets français de parc éolien offshore sont en développement au large du Tréport, du Fécamp, et de Courseulles-sur-mer. Sur les côtes britanniques, le parc Rampion est en construction.

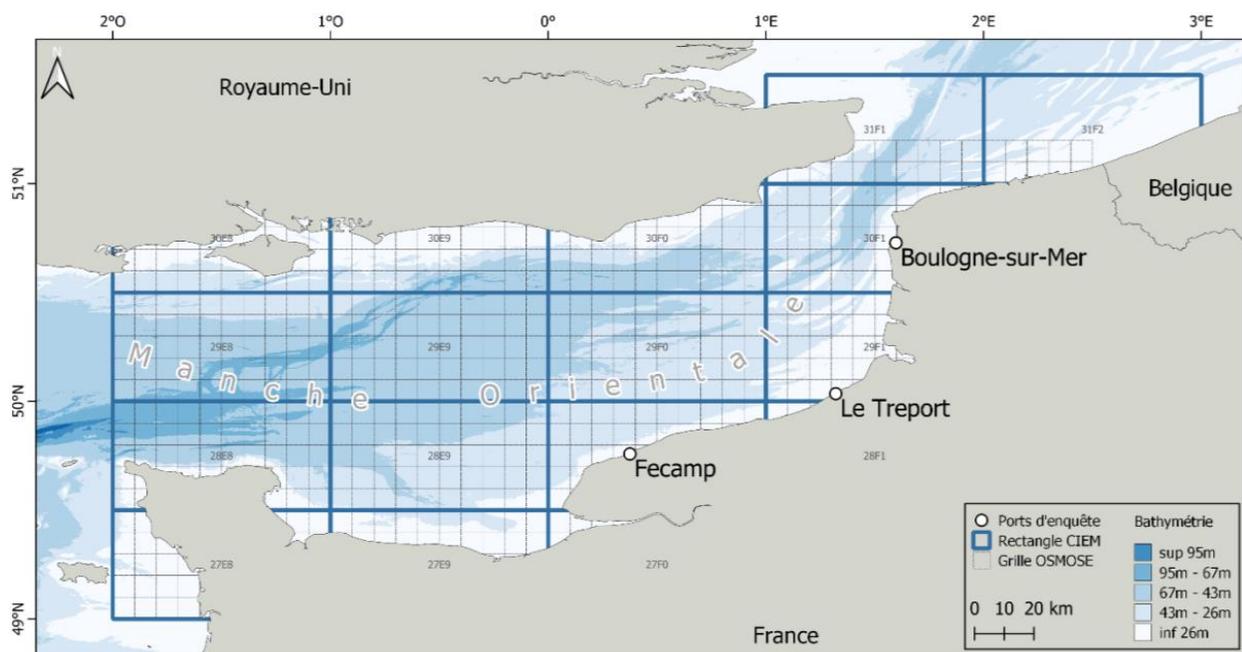


Figure 1 : Carte de la Manche Orientale représentant la zone d'étude : division VIII d et les deux rectangles statistiques 31F1 et 31F2 au sud de la Mer du Nord, avec les ports d'enquête et la grille du modèle OSMOSE.

## **2.2 Analyse des changements de régime dans les données de captures et de l'effort de pêche**

La dynamique des captures dépendant à la fois de la productivité de l'écosystème, de l'effort de pêche et de l'efficacité des engins de pêche (Barange et al., 2014). Il a été essentiel d'explorer cette dynamique par espèce et par flottilles. Pour étudier ces dynamiques, l'approche adoptée a été le changement de régime (ou *regime shift*). Cela, en vue de distinguer les années et les zones de changements de capture et d'effort de pêche qui ont lieu en Manche Orientale entre 2000 et 2019.

Les flottilles de la Manche Orientale sont définies par les principales espèces cibles qui sont représentées par la sole et la coquille Saint-Jacques. D'après Lehuta et al. (2015), la Manche Orientale présente 4 flottilles (chalutiers de fond, chalutiers mixtes, dragues et filet) subdivisées en région d'origine (Hauts-de-France et Normandie) et longueur du navire. Selon l'expertise du FROM Nord, les flottilles choisies dans cette étude ont été élaborées par catégorie d'engin de pêche, dans le but de simplifier l'analyse et d'avoir un nombre raisonnable de flottilles. Elles ont été constituées de chaluts pélagiques et de fonds, de filets, de dragues, de casiers et d'autres engins (exemple de la pêche à la ligne ou à pied qui ne représente qu'un faible pourcentage des pêcheurs de la région).

### **2.2.1 Données de capture et de l'effort de pêche**

Les données de production et d'effort de pêche SACROIS ont été utilisées pour analyser l'évolution des captures à travers la détection des changements de régime dans l'espace et dans le temps (cf figure 1). Ces données correspondent aux données de captures et d'efforts de pêche par navires et par trimestres. Elles sont calculées sur la base d'un algorithme de croisement des données de ventes, des données déclaratives et des données VMS (Demanèche et al., 2015). Chaque navire est caractérisé par son port d'exploitation, sa taille et son type de métier. Les captures et les efforts de pêche sont estimés dans chaque carré statistique du Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM ou ICES).

Pour les besoins de cette étude, les données de la zone VIId du CIEM ainsi que les carrés statistiques de la zone IVc (31F1 et 31F2) (zone d'activités pour les pêcheurs de Hauts-de-France) ont été sélectionnées sur la période 2000 – 2019 (voir figure 1).

Les données ont été agrégées par année et durant les traitements seules les espèces, les flottilles ou les zones avec plus de 19 années de série ont été retenues.

Les espèces traitées dans la base de données SACROIS ont été les 20 espèces les plus exploitées en Manche Orientale entre 2000 et 2019. L'unité de l'effort de pêche utilisée a été le nombre en jours de mer.

### **2.2.2 Changements de régime**

Les changements de régime ont été définis par deYoung et al. (2008) comme des changements relativement brusques entre des états contrastés et persistants (où les états différents peuvent être caractérisés par des non-linéarités de forme et/ou de fonction, ou par des structures organisationnelles modifiées). Cet indicateur est très répandu dans les analyses écologiques. Perälä et al. (2020) ont utilisé le changement de régime pour étudier différents paramètres (indice d'oscillation de l'Atlantique du Nord, biomasse des zooplanctons, mortalité par pêche, température de l'eau) qui pourraient affecter la biomasse de la morue en Atlantique. Pour prédire le taux de reconversion des récifs coralliens après une période de blanchissement, Graham et al. (2015) ont employé le changement de régime sur les paramètres climatiques.

Le point de changement fait partie des méthodes utilisées pour détecter les changements de régime (Perälä & Kuparinen, 2015 ; Perälä et al., 2020). Il se définit comme étant « un changement brusque dans les paramètres génératifs de données séquentielles » (Adams & MacKay, 2007).

Cette méthode a été employée pour détecter quand et où il y a eu un ou plusieurs changements dans les séries temporelles de captures et d'effort de pêche pour différentes flottilles en Manche Orientale. L'objectif de cette méthode est d'identifier les évènements qui ont marqué l'historique d'exploitation des principales espèces capturées. Dans le cadre de cette étude, un seul point de changement sur une série d'années a été identifié pour chaque série temporelle qui pourrait correspondre à un changement important de la moyenne, de la variance ou les deux ensembles.

Plusieurs packages R existent pour détecter les points de changements dans une série de données. 8 packages (tableau 1) ont été testés pour évaluer leurs performances à détecter des points de changements dans des séries temporelles relativement courtes (20 ans). Les packages testés diffèrent essentiellement par leurs méthodes de détection, le niveau de flexibilité (définition d'un seuil de détection) et le choix du nombre de points de changement (Tableau 1).

Tableau 1 : Différents packages de point de changement

Méthode	Méthode de détection	Modèle de comparaison	Avantages	Références
bcp	Changement d'intercept à la moyenne en utilisant la méthode bayésienne		Estimation de la moyenne et de la probabilité du point de changement	Erdman & Emerson, 2007
changeoint_mean	Changement d'intercept à la moyenne		Temps de calcul rapide	Killick & Eckley, 2014
changeoint_meanvar	Changement d'intercept à la moyenne et à la variance			
cpm	Changement d'intercept à la moyenne et à la variance		Temps de calcul rapide	Ross, 2015
EnvCpt	Changement d'intercept à la moyenne et à la variance	Log-likelihood	Temps de calcul rapide	Killick et al., 2016
mcp	Régression linéaire pour un changement de moyenne en utilisant la méthode bayésienne	Cross-validation	Paramétrisation du modèle, modèle stochastique donc obtention d'intervalle de confiance des paramètres du modèle et du point de changement avec sa probabilité	Lindeløv, 2020
mcp_var	Régression linéaire pour un changement de moyenne et de variance en utilisant la méthode bayésienne			
segmented	Régression linéaire pour un changement de moyenne	Critère AIC et déviance	Méthode la plus utilisée, paramétrisation du modèle	Muggeo, 2008

Afin de tester les différents packages, plusieurs séries de 20 éléments (années) et qui suivent une loi normale ont été générées aléatoirement pour simuler les données à analyser. La 10<sup>ème</sup> année correspond au point de changement que chaque méthode doit identifier.

Pour ce faire, 3 groupes de séries temporelles de 20 éléments et composées deux segments ont été simulés. Un premier groupe dans lequel la moyenne a été modifiée  $S_1(X_1 \sim N(\mu_1, \sigma_1^2), X_2 \sim N(\mu_2, \sigma_1^2))$ , un deuxième groupe dans lequel la variance a été modifiée  $S_2(X_1 \sim N(\mu_1, \sigma_1^2), X_2 \sim N(\mu_1, \sigma_2^2))$  et un troisième groupe dans lequel la moyenne et la variance ont été modifiées  $S_3(X_1 \sim N(\mu_1, \sigma_1^2), X_2 \sim N(\mu_2, \sigma_2^2))$ . Chacune des séries  $S_1$ ,  $S_2$  et  $S_3$  a été générée 1000 fois et ont été utilisées par la suite pour évaluer la performance des 8 packages R à détecter le point changement qui a eu lieu à la 10<sup>ème</sup> année.

Les tests ont montré que le package `mcp_var` (avec changement de moyenne et de variance) est celui qui détecte le mieux le point de changement. De plus, la variance des points de changement de la méthode `mcp_var` est très faible par rapport aux autres méthodes (figure 2). Le package `mcp_var` a été de ce fait utilisé dans le cadre de cette étude pour identifier les changements de régime des séries de captures et de l'effort de pêche. Les packages `EnvCpt` et `cpm` ont des résultats précis pour les données de changement de moyenne et la combinaison de variance et de moyenne. Néanmoins, ils ont des difficultés à identifier le point de changement sur les données avec changement de la variance.

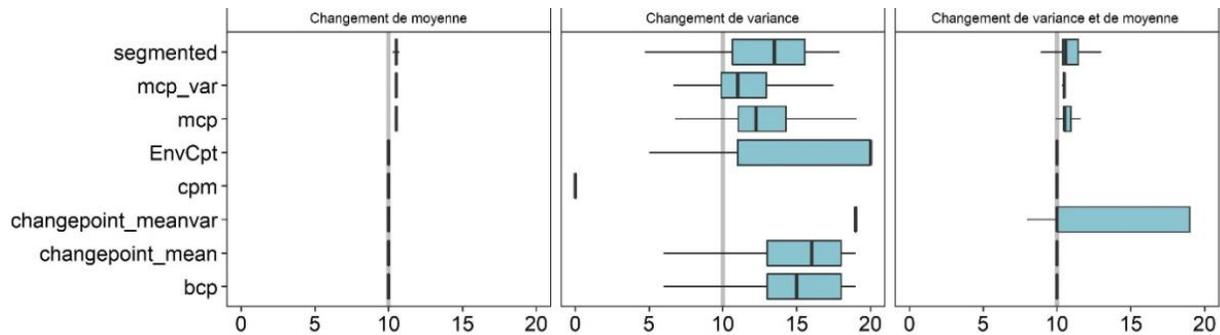


Figure 2 : Tests des packages R de point de changement sur 3 000 séries. La 10ème année correspond au point de changement.

### 2.2.3 Le package R Multiple Change Points

La méthode `mcp` identifie les changements à l'aide de modèle de régression de la moyenne ou de la variance ou de l'autocorrélation (ou par la combinaison de ces derniers) en utilisant l'inférence bayésienne (Lindeløv, 2020). Le nombre de points de changement à détecter peut être défini par l'utilisateur.

$$\mu_i = \begin{cases} f_1(x_i, \beta_1) & \text{if } x_i < \Delta \\ f_2(x_i, \beta_2) & \text{if } x_i > \Delta \end{cases} \quad (1)$$

Les paramètres du modèle sont estimés par la méthode bayésienne. Un prior non informatif est assigné à l'ordonnée à l'origine. Pour un modèle avec un point de changement, le prior par défaut est une loi uniforme limitée par la série de données analysée (équation 2).

$$\Delta = \text{Uniforme}(\min(x), \max(x)) \quad (2)$$

Le package `mcp` (version 0.3.0) permet de quantifier l'incertitude autour des points de changement en testant plusieurs paramètres (figure 3). La moyenne de chaque paramètre et du point de changement est donnée à la fin de chaque simulation avec des intervalles de confiance.

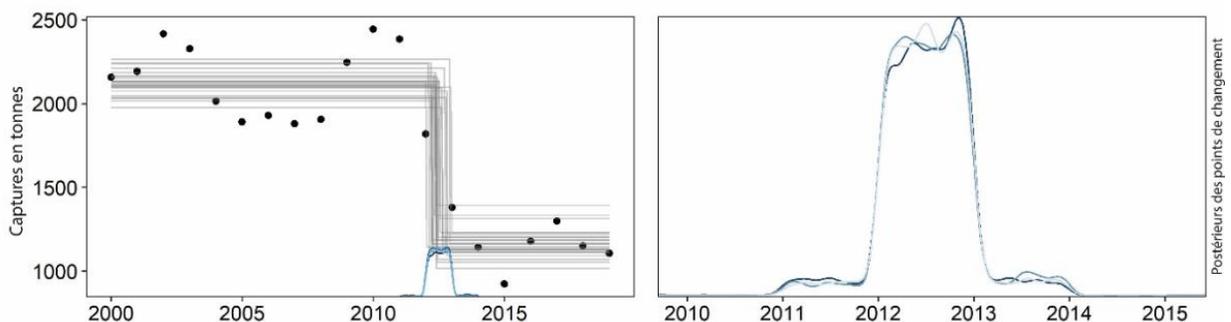


Figure 3 : Exemple d'identification de point de changement par `mcp` avec la série de capture des tacauds communs. Les lignes grises sur la figure à gauche montrent les différentes simulations de modèles. Les lignes bleues sur la figure à droite présentent les distributions postérieures du point de changement (chaque ligne représente une simulation). Le point de changement se trouve donc entre 2012 et 2013. Le script R utilisé dans cette étude pour calculer les points de changement est présenté en annexe 1.

## **2.3 Évaluation de la perception des pêcheurs de l'état de la pêcherie**

Une enquête a été mise en place pour évaluer la perception des pêcheurs concernant l'évolution de l'état des ressources ainsi que de leurs activités de pêche en Manche Orientale entre 2000 et 2020. L'enquête a été effectuée auprès des adhérents du FROM Nord une organisation de production (OP) qui compte 163 navires (au 31 décembre 2020) répartis dans 11 quartiers maritimes sur les façades Mer du Nord et Manche/Atlantique (dont 56 en Hauts-de-France et 84 en Normandie). Ses principales missions sont la gestion des sous-quotas, le soutien du marché pour favoriser la valorisation des captures et la représentation de ses adhérents devant les autorités et organisations professionnelles régionales, nationales et communautaires.

À la différence des enquêtes basées sur les journaux de bord européens en papier SACAPT ou les données de ventes en criée ERS-Notes (Electronic Information Recording and Information Exchange) (Demanèche et al., 2015), cette approche prend davantage en compte des données qualitatives. Elle a été réalisée pour mieux comprendre la perception des pêcheurs des ressources qu'ils exploitent et comment ils adaptent leurs activités de pêche.

Une enquête directive a été élaborée, où les questions ont été établies en amont et ont été posées de manière ordonnée. La plupart des questions ont été fermées. La durée moyenne d'une enquête est entre 20 min.

### **2.3.1 Échantillonnage des pêcheurs**

Les enquêtes ont été effectuées d'avril à juin 2021. Ce sont des patrons de pêche qui possèdent et gèrent leurs propres navires. La zone d'étude s'étend de la région de Normandie aux Hauts-de-France, les enquêtes ont été effectuées sur trois ports de pêcheurs (dont Boulogne-sur-Mer, Le Tréport et Fécamp, cf. figure 1).

La plupart des adhérents du FROM Nord pratiquent un métier polyvalent, c'est-à-dire qu'ils utilisent plusieurs engins de pêche en fonction de l'espèce cible. Néanmoins, les engins de pêche principaux restent les filets (38 %) et les chaluts (57 %). Les pêcheurs ont été échantillonnés suivant une division équitable entre ces deux catégories d'engin de pêche, c'est-à-dire que l'enquête a été assez représentative de chaque engin de pêche (annexe 2). Toutefois les conditions sanitaires et la disponibilité des pêcheurs ont limité les enquêtes à seulement 17 pêcheurs. Il existe également d'autres OP dans ces régions que l'étude n'a pas pris en compte, comme la Coopérative Maritime Etaploise (CME) qui compte 44 navires ou l'Organisation des Pêcheurs normands.

### **2.3.2 Le questionnaire**

Au début de chaque enquête, les pêcheurs ont été informés du contexte de la pêcherie en Manche Orientale puis de l'objectif de cette étude et de l'enquête. Le questionnaire a été subdivisé en 5 parties avec au total 17 questions (annexe 3).

La première partie a consisté à collecter les informations générales sur le pêcheur (expérience, taille de bateau).

La deuxième partie concerne les engins de pêche. L'objectif de cette section est de recueillir des informations sur les engins utilisés et les changements d'engins s'il y en a eu dans le passé (exp. année et raison de changement).

La troisième partie a été consacrée aux espèces cibles et accessoires du pêcheur. Pour les trois principales espèces qu'il cible, le pêcheur note de 1 à 5 (de très faible à très forte abondance) l'abondance de l'espèce entre 2000 et 2020. Le pêcheur a été ensuite interrogé sur les espèces pour lesquels il perçoit un important changement d'abondance. Puis la zone et l'année de changement de chaque espèce listée ont été demandées. Enfin, pour essayer d'avoir une représentation des impacts trophiques mixtes avec les avis des pêcheurs, une question sur les interactions entre espèces a été posée. Des espèces ont été présentées aux pêcheurs et ils mentionnent s'ils observent des interactions positives ou négatives par paires

d'espèces. Toutefois, les espèces présentées sont des exemples, les pêcheurs peuvent évoquer d'autres paires d'espèces avec lesquelles ils perçoivent des interactions.

La 4<sup>ème</sup> partie consiste à interroger le pêcheur sur le changement de sa zone de pêche. Si le pêcheur a changé de zone de pêche, l'année et les raisons de ce changement ont été alors questionnées.

La dernière partie consiste à une question ouverte sur les menaces des activités de pêche à court et moyen terme et les menaces sur les poissons plats.

Pour collecter les réponses aux questionnaires, une macro Excel a été développée (figure 4). Une base de données dédiée à chaque partie du questionnaire a été élaborée avec la macro pour simplifier le traitement des informations. Chaque base de données est au format Excel directement exploitable sur R sans besoin d'autres traitements. L'intérêt de cette macro est que le questionnaire s'adapte en fonction de l'engin de pêche utilisé. Pour les fileyeurs, des questions sur la longueur des filets ont été ajoutées. La question sur la polyvalence des pêcheurs conditionne également le questionnaire puisque d'autres questions s'ajoutent pour les pêcheurs polyvalents. En outre, cette macro ne nécessite pas une connexion internet pour fonctionner (à la différence de certains questionnaires en ligne). Par ailleurs, la structure de cette macro est assez flexible et permet d'intégrer des cartes pour spatialiser le changement de zone de pêche ou les changements d'abondance d'une espèce.

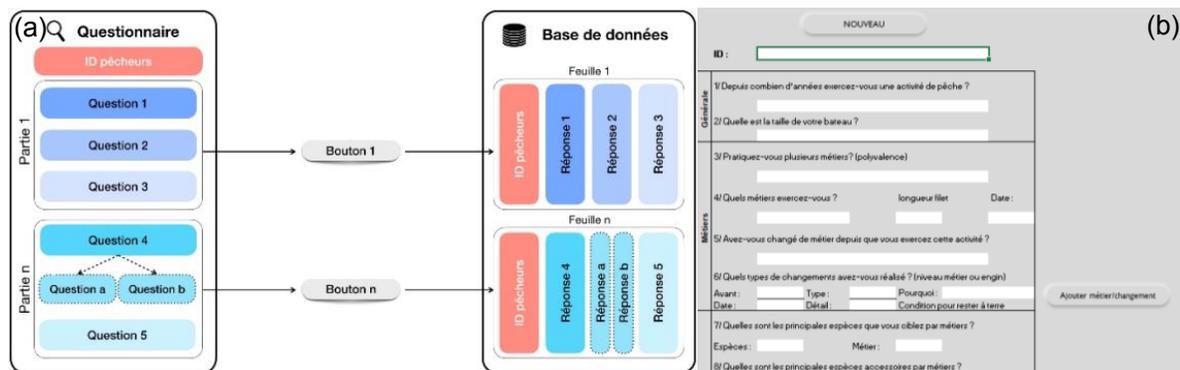


Figure 4 : Principe de fonctionnement (a) et aperçu (b) du questionnaire en macro Excel. Il y a plusieurs boutons qui ajoutent les réponses de chaque partie des questions dans des bases de données spécifiques à chaque partie avec l'identifiant du pêcheur à chaque fois. Sur la figure (a), la réponse à la question 4 va mener soit la question a ou soit la question b.

## 2.4 OSMOSE

OSMOSE (Object-oriented Simulator of Marine Ecosystems Exploitation) est un modèle trophique, multispécifique et individu-centré. Néanmoins, les individus ne se réfèrent pas à un individu unique, mais plutôt sur un « banc de poissons » de même espèce (ou poisson identique selon Scheffer et al., 1995), de mêmes stades de vie et de taille ainsi que de caractéristique et de comportement (Shin & Cury, 2001). Le modèle représente la dynamique spatio-temporelle du cycle de vie des populations d'espèces données avec leurs interactions trophiques (Shin & Cury, 2004). Il a comme hypothèse la prédation opportuniste, c'est-à-dire, une prédation basée sur l'adéquation de taille entre prédateur et proie et la co-occurrence spatio-temporelle de ces deux derniers (Shin & Cury, 2001, 2004 ; Travers et al., 2009).

Le modèle OSMOSE a été appliqué dans plusieurs écosystèmes : en océan Pacifique, sur le détroit de Géorgie au Canada (Fu et al., 2017) ; dans le Golfe du Mexique sur les côtes ouest de la Floride (Grüss et al., 2015) ; dans le Golfe de Gabès en Tunisie (Halouani et al., 2016, 2019) ; en Mer du Nord (Ballutaud, 2018) ; en Manche Orientale (Travers-Trolet et al., 2019).

Il existe plusieurs modèles de simulation de la pêche et de l'écosystème marin comme Ecopath, Ecosim, Ecospace (Pauly et al., 2000 ; Christensen & Walters, 2004), Ecotroph (Gascuel & Pauly, 2009) ou Atlantis (Fulton et al., 2011). Toutefois, l'avantage d'OSMOSE régie dans le fait qu'(1) il peut s'intégrer dans un modèle End-to-End ; (2) il ne nécessite pas

de données d'entrée de matrice de régime alimentaire puisque la prédation est opportuniste et juste dépendant du ratio prédateur/proie et de la co-occurrence spatio-temporelle.

### 2.4.2 Le modèle OSMOSE

Pour chaque pas de temps donné, les bancs de poissons subissent divers processus : la distribution spatiale, la prédation, la famine, la migration, la pêche, la croissance et enfin la reproduction (figure 5).

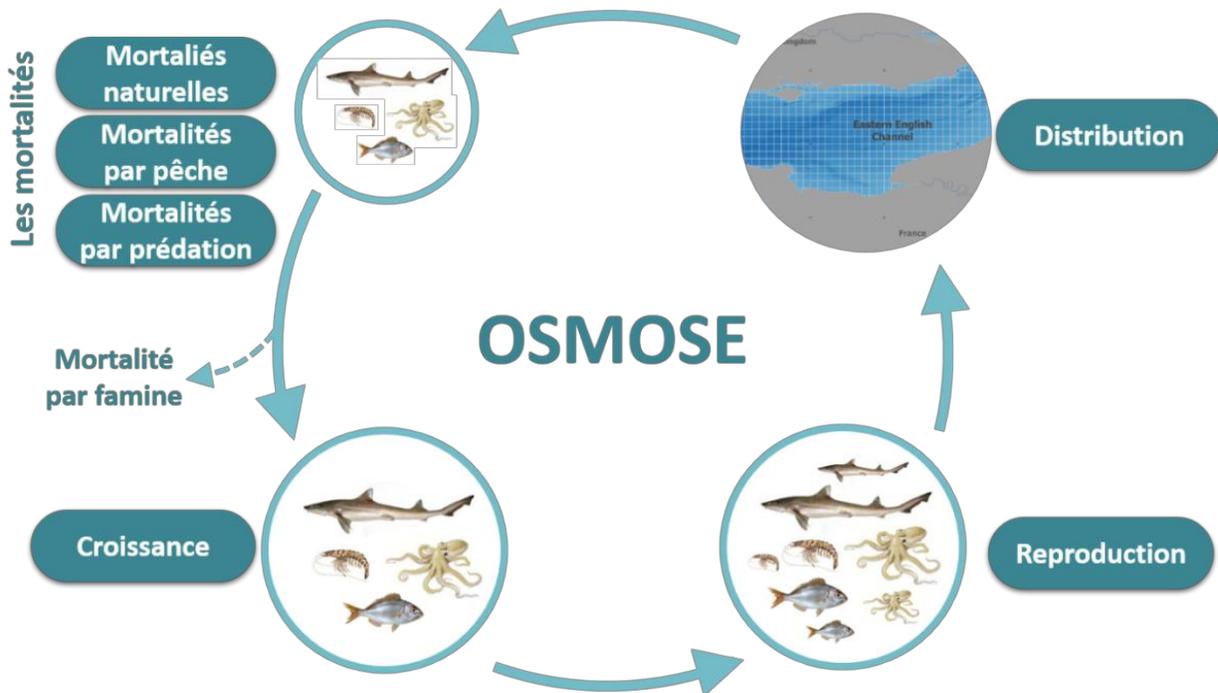


Figure 5 : Description schématique des principaux processus dans le modèle OSMOSE

Tous les processus dans le modèle OSMOSE sont régis par des équations mathématiques décrites dans la documentation d'OSMOSE (*Documentation OSMOSE*, <https://documentation.osmose-model.org>, consultée le 21 juin 2021), mais également illustrer par différents auteurs (Shin & Cury, 2001, 2004; Ballutaud, 2018; Halouani et al., 2019; Travers-Trolet et al., 2019).

À chaque pas de temps, la distribution spatiale des bancs de poissons (dans un espace géographique ou écosystème donné) est modifiée de manière aléatoire en se basant soit sur des cartes de distribution (exp. Des cartes issues de modèles de niche) et de processus de marche aléatoire.

Une fois que les espèces sont tout à fait réparties, vient alors la prédation qui ne concerne que les poissons piscivores. Il faut noter que l'ordre dans laquelle les poissons agissent est aléatoire. L'accessibilité horizontale des proies dépend de la cooccurrence sur la grille de répartition avec les prédateurs. L'accessibilité verticale émane de la position des différentes espèces dans la colonne d'eau définie dans une matrice d'accessibilité. Les bancs des prédateurs ne peuvent se nourrir que de bancs de proies dont la longueur correspond aux ratios de l'équation (3), avec  $R_{min}$  et  $R_{max}$  les ratios maximums et minimums de taille prédateur ( $L_{pred}$ )/taille proie ( $L_{proie}$ ) :

$$R_{min} \leq \frac{L_{pred}}{L_{proie}} \leq R_{max} \quad (3)$$

Le taux de réussite de la prédation ( $S_R$ ) est ensuite calculé :

$$S_R = \frac{Proie_{mangée}}{Proie_{mangeable}} \quad (4)$$

Avec  $Proie_{mangeable} = \frac{B_{pred} \times I_{max}}{N_{mort}}$  où  $B_{pred}$  la biomasse des prédateurs,  $I_{max}$  le taux d'ingestion maximal de l'espèce et  $N_{mort}$  le nombre de sous-étapes des processus de mortalité

$$\text{et } Proie_{mangée} = \min(Proie_{totale}, Proie_{mangeable})$$

$$\text{où } Proie_{totale} = \sum_{p=proie} A(proie, proie) \times B_{proie} \text{ le taux de prédation}$$

Le taux de mortalité  $M_{famine}$  (équation 5) par famine peut être calculé grâce au taux de réussite de la prédation ( $S_R$ ) par rapport au taux de réussite critique de prédation ( $C_{SR}$ ) et le taux maximum de mortalité par famine ( $M_{max}$ ). Ce taux permet alors de calculer l'abondance des bancs après la mortalité par famine ( $N_{famine}$ ) (équation 6).

$$M_{famine} = M_{max} \times \left(1 - \frac{S_R}{C_{SR}}\right) \text{ si } S_R \leq C_{SR} \quad (5)$$

$$N_{famine} = N \times (1 - e^{-M_{famine}}) \quad (6)$$

La migration est utilisée pour simuler toutes les sorties en dehors de la zone d'étude, elle dépend de l'espèce et est tirée de la littérature (Halouani et al., 2019 ; Travers-Trolet et al., 2019). Elle s'applique lorsque les bancs de poissons se déplacent en dehors de la zone d'étude, aucun des processus du modèle (prédation, croissance, pêche, mortalité naturelle, croissance, famine) n'est alors appliqué à ces individus par la suite. L'équation 7 calcule l'abondance des bancs après cette migration ( $N_{migration}$ ).

$$N_{migration} = N \times (1 - e^{-M_{migration}}) \quad (7)$$

La mortalité par pêche est spécifiée par espèce selon la saison et/ou la répartition spatiale (Travers-Trolet et al., 2019). Ce taux de mortalité par espèce est déduit par des modèles d'évaluation des stocks ou d'autres modèles écosystémiques ou lorsque l'information est absente,  $F$  peut être calibré par le modèle. L'abondance des individus après la pêche est ensuite calculée par l'équation suivante :

$$N_{pêche} = N \times (1 - e^F) \quad (8)$$

Après l'application de ces différentes mortalités, le modèle mets en œuvre la croissance. Les taux de croissance annuels moyens ( $\Delta L$ ) des poissons d'âge donné ( $a$ ) d'une espèce ( $s$ ) sont calculés à partir du modèle de von Bertalanffy (équation 9).

$$\Delta L_{s,a} = L_{\infty s} (1 - e^{-K_s}) e^{-K_s(a - a_s)} \quad (9)$$

Avec  $L_{\infty s}$  la taille maximale d'une espèce  $s$ , et  $K_s$  le coefficient de croissance de l'espèce  $s$

Cette croissance est réajustée pour tenir compte de la quantité de nourriture ingérée par chaque groupe pendant un pas de temps. Puisque les nutriments apportés par la nourriture servent en premier lieu aux métabolismes d'entretien ensuite à la croissance. Donc, la croissance (équation 10, où à  $s$  espèce et  $a$  l'âge du poisson) dépend de l'efficacité de la prédation ( $S_R$ ) qui doit être supérieur au taux de réussite critique de prédation ( $C_{SR}$ ).

$$\begin{cases} \Delta L_{s,a} = 0 \text{ si } S_R \leq C_{SR} \\ \Delta L_{s,a} = \frac{2\Delta L}{1 - C_{SR}} (S_R - C_{SR}) \text{ si } S_R > C_{SR} \end{cases} \quad (10)$$

Tous les individus à l'âge fécond ( $A_{mat}$ ) ou ayant la taille à la maturité ont la même capacité de reproduction. Pour calculer le nombre de pontes  $N$  d'une espèce  $s$  (équation 11), le modèle effectue le produit de sa biomasse mature avec son sexe ratio, puis sa fécondité relative ( $\varphi$ ) et sa saison de ponte ( $S_s$ ) (annexe 5).

$$N_{s,0} = \sum_{a > A_{mat}} B_{s,a} \times \text{Sexe ratio} \times \varphi \times S_s \quad (11)$$

### 2.4.3 Application du modèle OSMOSE en Manche Orientale

L'application du modèle OSMOSE en Manche Orientale utilisé dans cette étude a été développé par Travers-Trolet et al. (2019). Elle a été basée sur la version 4.1.0 du modèle OSMOSE. Cette application du modèle couvre la zone CIEM VIII correspondante à la Manche Orientale, elle s'étend de 49° N — 2° O à 51,4° N — 2,5° E. La grille du modèle est constituée de 445 cellules (de dimension 0,6° x 0,6°) (cf. figure 1).

L'application du modèle a été réalisée en considérant 14 espèces (qui constituent 80 % des captures de la zone en excluant les invertébrés et 2/3 des échantillons des campagnes scientifiques de la Channel Ground Fish Survey, Travers-Trolet et al., 2019). Ces espèces sont composées de la petite roussette (*Scylliorhinus canicula*), le rouget (*Mullus surmuletus*), le tacaud (*Trisopterus luscus*), le merlan (*Merlangius merlangus*), le petit tacaud (*Trisopterus minutus*), la morue (*Gadus morhua*), le dragonnet (*Callionymus lyra*), la sole (*Solea solea*), la plie (*Pleuronectes platessa*), le chinchard (*Trachurus trachurus*), le maquereau (*Scomber scombrus*), le hareng (*Clupea harengus*), la sardine (*Sardina pilchardus*), et les calmars (composés de deux espèces : *Loligo forbesi* et *Loligo vulgaris*). Les paramètres de chaque espèce utilisés dans les différents processus cités précédemment résultent principalement de la littérature (annexe 4). Il faut noter que les maquereaux et les harengs migrent entre juillet et septembre ( $M_{\text{migration}} = 1,05$ ) ainsi qu'entre avril et septembre ( $M_{\text{migration}} = 0,55$ ) respectivement (Mackinson & Daskalov, 2007).

Des groupes de plancton ont été intégrés dans le modèle pour représenter les espèces de bas niveau trophique. En effet, des dinoflagellés et les diatomées ont été ajoutés. L'intégration a été réalisée à travers le modèle biogéochimique de ECO-MARS3D sur la Manche Orientale (Le Goff et al., 2017 ; Vanhoutte-Brunier et al., 2008). Ils ont été répartis sur une grille de 2 km de résolution et une colonne d'eau de 10 étages. Toutefois, OSMOSE ne présente pas de distribution verticale. Ainsi, une accessibilité des espèces a été élaborée selon la verticalité (annexe 6). La distribution de ces groupes de plancton et leurs climatologies ont été générées à partir des données bimensuelles de 2000-2006 (Travers-Trolet et al., 2019). D'autres groupes d'invertébrés à l'instar des zooplanctons et 5 variétés de différente taille de benthique ont été également ajoutés au modèle (annexe 6).

Pour valider le modèle, Travers-Trolet et al. (2019) ont calibré la biomasse et les captures dans le modèle pour les comparées avec celles des valeurs observées entre 2000-2009 en Manche Orientale. Ces valeurs observées ont été extraites de la biomasse estimée de la plie et de la sole par ICES (2011 b) ; pour le hareng, le maquereau, le merlan et la morue, la biomasse estimée a été dérivée d'évaluations de stock couvrant une zone plus large (ICES, 2011 b, 2012). Les valeurs observées des captures ont été fournies par les données du ICES (2011a). La biomasse simulée par le modèle a été cohérente par rapport à la biomasse observée. Les captures simulées ont montré des similitudes avec les observations pour la moitié des espèces (calmar, maquereau, merlan, cabillaud, petite roussette, et sardine). Pour le chinchard, le hareng et le rouget, les captures sont sous-estimées à 42 %, 18 %, et 42 % respectivement. Les captures simulées de la plie, la sole et du tacaud sont inférieures aux observations (à 57 %, 80 % et 73 % respectivement).

### 2.4.4 Plan de simulation

Des scénarios de 120 années a été effectué dont 100 ans de de stabilisation de l'écosystème (*spin-up time*). Le pas de temps a été défini à 24 par année (2 semaines). En raison de la stochasticité du modèle, 15 simulations ont été réalisées pour chaque scénario. Afin de comprendre comment les poissons plats ou le réseau trophique en générale se comportent sous différentes stratégies de pêche, deux plans de simulations ont été réalisés.

Le premier plan de simulation consiste à modifier les pressions de pêche par espèces pour voir si cela a des répercussions sur les autres espèces du réseau trophique. Pour un scénario, un multiplicateur d'effort  $\lambda$  (de 0 à 2) a été appliqué sur le taux de mortalité par pêche  $F$  d'une espèce  $s$  (équation 12). Ce scénario a été par la suite répliqué 15 fois.

$$F_{\text{scénario}, s} = F_s \times \lambda \quad (12)$$

Pour le deuxième plan de simulation, la pression de pêche a été modifiée par catégorie d'engin de pêche afin de reproduire des stratégies de pêche ciblant un groupe d'espèce en particulier. Seules les flottilles qui ciblait principalement les espèces comprises dans OSMOSE ont été sélectionnées, à savoir les chalutiers pélagiques, les chalutiers de fonds, les fileyeurs et les senneurs. Les espèces cibles de chaque flottille ont été déterminées à partir des données de captures de SACROIS entre 2000 et 2019 (figure 6). Un seuil de 5 % a été fixé pour identifier les principales espèces capturées par chaque flottille.

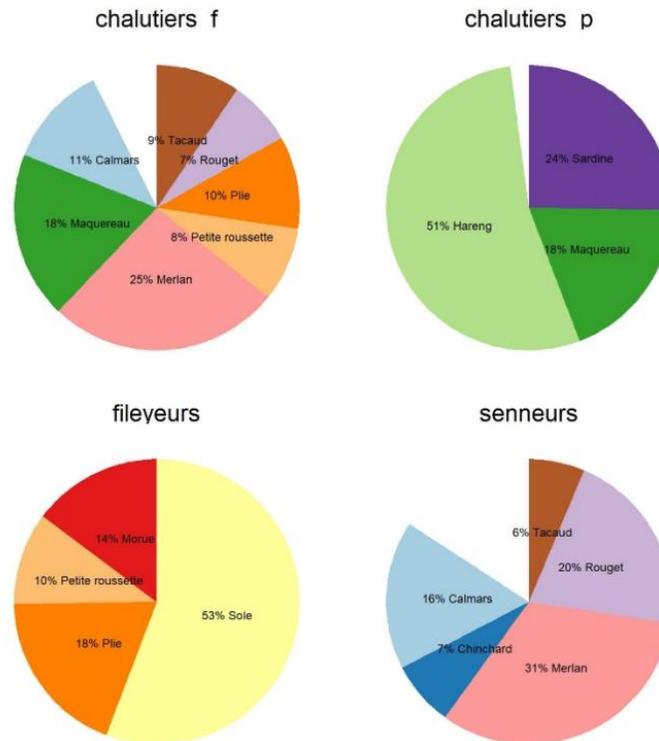


Figure 6 : Distribution des espèces cibles par flottilles.

La version d'OSMOSE utilisée dans cette étude ne prend pas en compte les flottilles. De ce fait, pour chaque stratégie de pêche relative à une flottille en particulier, un multiplicateur de la pression de pêche  $\lambda$  a été appliqué sur le taux de mortalité par pêche des espèces cibles de la flottille (équation 13).

$$\text{Scénarios de stratégie de pêche} \begin{cases} F = F_{\text{espèce}} & \text{si l'espèce n'est pas cible de la flottille} \\ F = F_{\text{espèce}} \times \lambda & \text{si l'espèce est cible de la flottille} \end{cases} \quad (13)$$

#### 2.4.5 Les indicateurs

Plusieurs indicateurs ont été calculés pour explorer les sorties du modèle OSMOSE. Deux indicateurs ont été sélectionnés par rapport aux poissons plats (tableau 2) à savoir les biomasses moyennes et les niveaux trophiques de la plie et la sole. Ces indicateurs ont été choisis afin de mieux comprendre l'impact potentiel des autres espèces ainsi que les différentes stratégies de pêche sur la dynamique des poissons plats. Cela dans le but d'avoir des éléments de réponse qui pourraient expliquer leur baisse au cours des dernières années. L'indice de l'espèce clé de voûte (Keystone index, Valls et al., 2015) a été calculé pour toutes les espèces. Il se définit comme étant une espèce qui joue un rôle clé dans le fonctionnement de l'écosystème, en ayant un effet disproportionné sur les autres espèces par rapport à leurs biomasses (Paine, 1969). Enfin, la matrice « Mixed Trophic Impact » (MTI) ou impacts

trophiques mixtes a été calculée pour évaluer les interactions directes et indirectes entre les différentes espèces du modèle.

Tableau 2 : Indicateurs utilisés pour explorer les résultats du modèle OSMOSE

Indicateur	Formule	Détail de la formule	Référence
Biomasse moyenne par simulation	$Biomasse\ moyen_{sim, s} = \frac{\sum_t B_{s, t}}{n_t}$ (en tonnes)	<i>sim</i> indique la simulation, <i>s</i> le poisson plat, <i>t</i> les années et <i>n<sub>t</sub></i> nombre total d'années de simulation (19 ans)	
Niveau trophique moyen	$MTL = \frac{\sum_s TL_s \times B_s}{\sum_s B_s}$	<i>TL</i> niveau trophique et <i>s</i> l'espèce	Pauly et al., 1998
Espèce clé de voûte (Keystone index) par l'indicateur de Valls	$KS_s = \log [\varepsilon_s \times p_s]$ où $\varepsilon_s = \sqrt{\sum_{e \neq s} m_{se}^2}$ ; et $p_s = \frac{Biomasse_s}{Biomasse_e}$	$\varepsilon_s$ exprime la somme des valeurs au carré de $m_{se}$ du groupe <i>s</i> , jumelé avec chacun des autres groupes vivants <i>e</i> dans le réseau trophique	Valls et al., 2015
Impacts trophiques mixtes (MTI)	$MTI_{i,j} = DC_{i,j} - FC_{j,i}$	<i>i</i> prédateur et <i>j</i> proie, <i>DC</i> la composition du régime alimentaire (dans quelle mesure la proie <i>j</i> participe au régime alimentaire du prédateur <i>i</i> ), <i>FC</i> la composition d'hôte (proportion de la prédation de la proie <i>j</i> par <i>i</i> )	Ulanowicz & Puccia, 1990

### 3 Résultats

#### 3.1 Diagnostic de l'état de la pêche

##### 3.1.1 Changement de régime par espèce

Les captures de la plupart des espèces ont montré des points de changement en baisse sur la période 2000 – 2019, c'est le cas des 80 % des espèces les plus exploitées (figure 7). Seulement 10 % sont relativement stables dont le calmar et le hareng ; et 10 % sont en hausse, dont le buccin et la coquille Saint-Jacques avec des volumes de captures élevés. Les changements se sont faits principalement entre 2007 et 2014. Concernant les poissons plats, la plie connaît un changement en baisse de 48 % depuis 2005 et la sole a subi une diminution de 51 % en 2013, avec la limande (-68 %, mais avec un volume de capture faible) (figure 7).

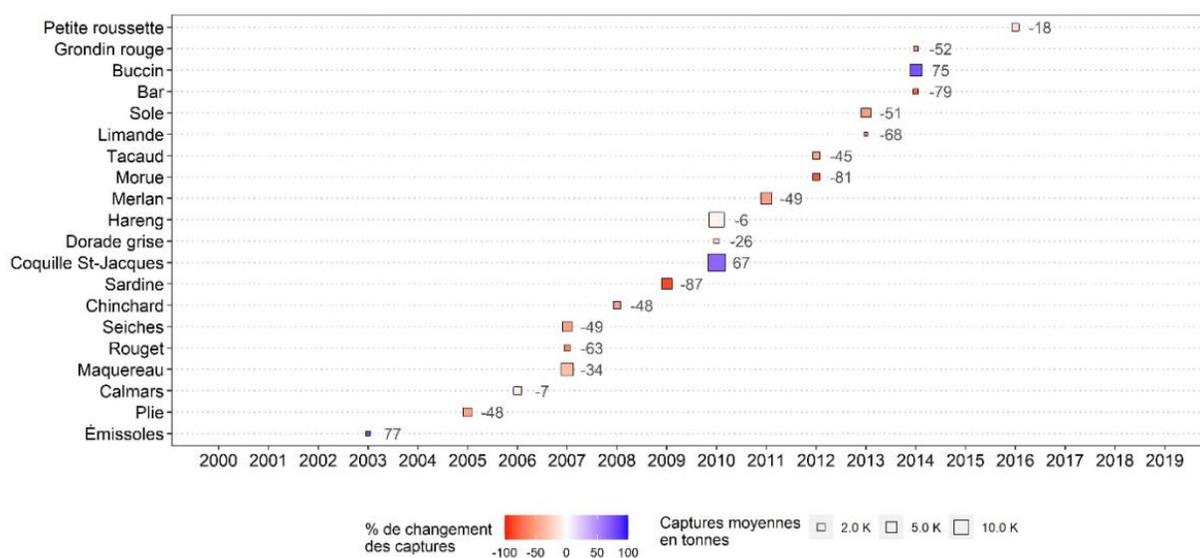


Figure 7 : Changement de régime des captures des 20 principales espèces exploitées en Manche Orientale (entre 2000-2019). La couleur montre la direction du changement (rouge : point de changement en baisse, bleu : point de changement en augmentation). La taille des carrés est proportionnelle aux captures de l'espèce.

La spatialisation des captures donne un aperçu des zones qui ont été impactées par ces changements. Généralement, les zones côtières ont été les plus affectées par les diminutions des captures surtout pour la période avant 2010. Les zones au large (ou près des côtes britanniques) ont connu des diminutions après 2010 (figure 8). A contrario, la baie de Seine affiche des points de changement des captures en augmentation comme pour le cas de la sole et de la plie, mais dans des périodes différentes (figure 8).

Les points de changement sur les captures de la limande, de la morue et de la seiche sont tous en baisse sur toute la zone d'étude. Il faut noter que les captures de la sole sont en diminution partout sauf sur deux rectangles statistiques (figure 8). Le bar, le grondin rouge, le maquereau, le merlan, le rouget et le tacaud présentent également des changements de régime en baisse sur presque toute la zone sauf au voisinage de la baie de Seine où les captures ont un changement positif (figure 8).

Toutefois, trois espèces ont eu des points de changement généralement positifs (le buccin, la coquille Saint-Jacques et l'émissole). Le buccin voit des points de changement positif sur presque toutes les zones de pêche ; à proximité de la région de la Normandie entre 2005 et 2010 ; puis plus vers la région Hauts-de-France à partir de 2012. Pour l'émissole, des changements en hausse ont été également remarqués sur toute la zone ; en sud Mer du Nord et au voisinage de la région des Hauts-de-France entre 2001 et 2003 ; les changements positifs en baie de Seine se sont plutôt réalisés au-delà de 2010. La coquille Saint-Jacques a présenté des changements de point en augmentation près des estuaires français (figure 8).

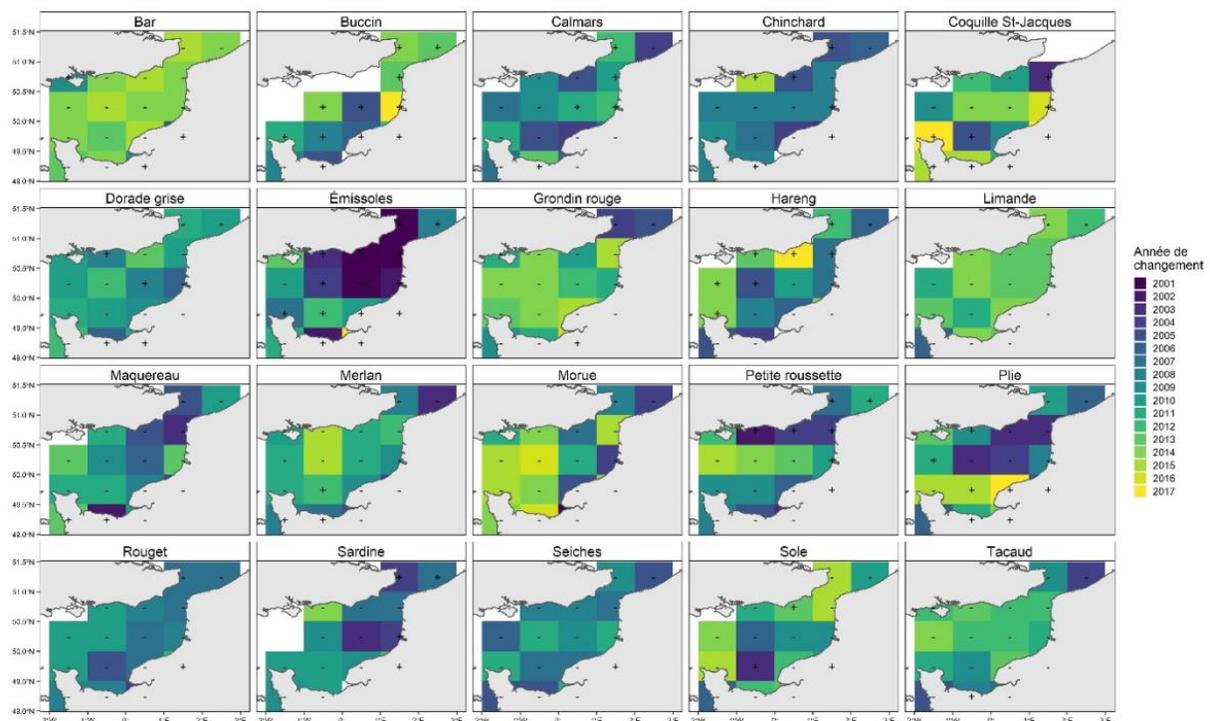


Figure 8 : Changement de régime des captures par zone (des 20 principales espèces exploitées en Manche Orientale entre 2000-2019). Les couleurs correspondent aux années de changement, le signe (+) correspond à une augmentation des captures et le signe (-) à une diminution.

### 3.1.2 Changement de régime par flottille

Pour les points de changement des captures par flottilles, l'analyse a été réalisée pour les 20 espèces les plus exploitées de la zone d'étude. Les points de changement apparaissent également entre 2007 et 2014 (figure 9a). Les captures des chalutiers sont les premières à montrer un changement important, -45 % pour les chaluts pélagiques en 2008, et -44 % pour les chaluts de fond en 2011 (figure 9a). Les « autres » catégories d'engin de pêche ainsi que les fileyeurs ont connu des changements en diminution également, -53 % (2012) et -51 %

(2014) respectivement. Sur l'année 2014, les casiers, les dragues et les senneurs ont montré des points de changements en augmentation. Les senneurs ont affiché une hausse de capture de 348 %, toutefois le volume de leurs captures est minime par rapport aux autres flottilles.

Concernant l'effort de pêche (en jours de mer), les fileyeurs et les chalutiers (pélagique ou de fond) ont présenté des points de changement en baisse entre 2008 et 2009 (figure 9b). Les dragues ont un point de changement de 15 % depuis 2005. Les casiers et « autres » catégories d'engin de pêche présentent également des changements en hausse, 49 % en 2014 et 103 % en 2011 respectivement (figure 9b). Les senneurs ont montré des changements considérables avec une augmentation de 454 % en 2014 (figure 9b), mais également avec un effort de pêche peu important par rapport à la moyenne générale.

Seulement les points de changement de capture et de l'effort de pêche sur les senneurs coïncident. En effet, en 2014, il y a eu une augmentation de capture de 348 % et de l'effort de pêche de 454 %. Cela a été également remarqué pour les caseyeurs, mais à une année près, les captures ont augmenté en 2014 et l'effort de pêche en 2015. Pour les chalutiers pélagiques, la diminution de -45 % des captures a été suivie d'une diminution de -20 % d'effort de pêche l'année suivante. De grands décalages peuvent être remarqués aussi entre les points de changement des captures et de l'effort de pêche. Entre le changement de l'effort de pêche et des captures, 6 ans d'écart ont été constatés pour les fileyeurs et 9 ans d'écart pour les dragues (figure 9).

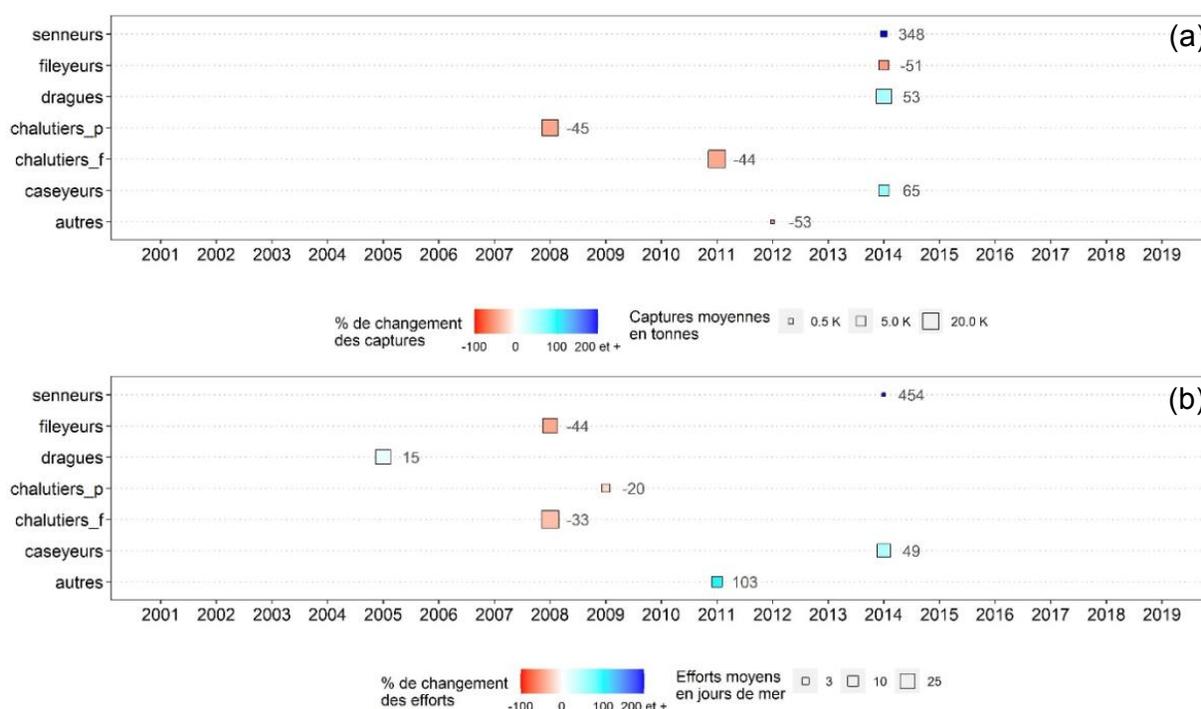


Figure 9 : Points de changement des captures (a) et des efforts de pêche (b) par flottille. Les captures représentent les 20 principales espèces exploitées en Manche Orientale entre 2000 et 2019. La couleur correspond à la direction et l'intensité du changement (rouge : point de changement en diminution, bleu : point de changement en augmentation). La taille des carrés est proportionnelle aux captures et l'effort par flottille.

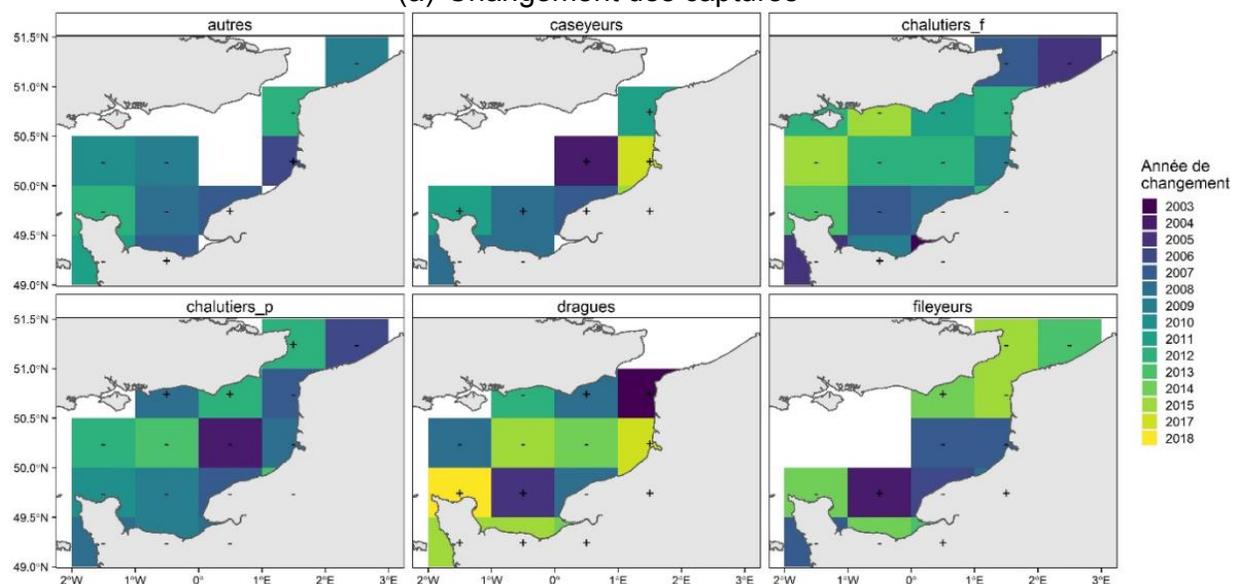
La figure (10) indique les changements de capture ou d'effort de pêche par zone. Dans certains rectangles statistiques, l'absence des points de changement se justifie par le traitement des données consistant à ignorer les séries inférieures à 19 années (pour chaque flottille et chaque rectangle). De ce fait, les senneurs ne sont pas représentés dans cette partie, puisqu'avant 2013 les captures françaises ont été peu importantes et peu réparties. Pour un même rectangle, les séries de données valables pour les captures ne sont pas nécessairement valables pour l'effort de pêche.

Les captures de tous engins confondus ont des points de changement en augmentation à l'extérieur de la baie de Seine, à l'exception des captures des caseyeurs et des chalutiers pélagiques. Ces derniers voient leurs captures en hausse au nord et en baisse au sud (figure 10a).

Globalement, les points de changement de l'effort de pêche s'appliquent de la même manière que ceux des captures malgré quelques années de décalage ; sauf notamment sur les zones 27E8 et 28E8 (au voisinage du cap de la Hague) pour la drague où il y a eu une baisse d'effort de pêche entre 2011-2013 alors qu'une hausse de capture a été remarquée entre 2015-2018 (figure 10).

Par ailleurs, des disparités apparaissent dans la catégorie « autres » (figure 10), conséquence présumée de la diversité des engins constituant cette catégorie (comme les différentes lignes, les tamis, ou d'autres méthodes de pêches).

(a) Changement des captures



(b) Changement des efforts de pêche

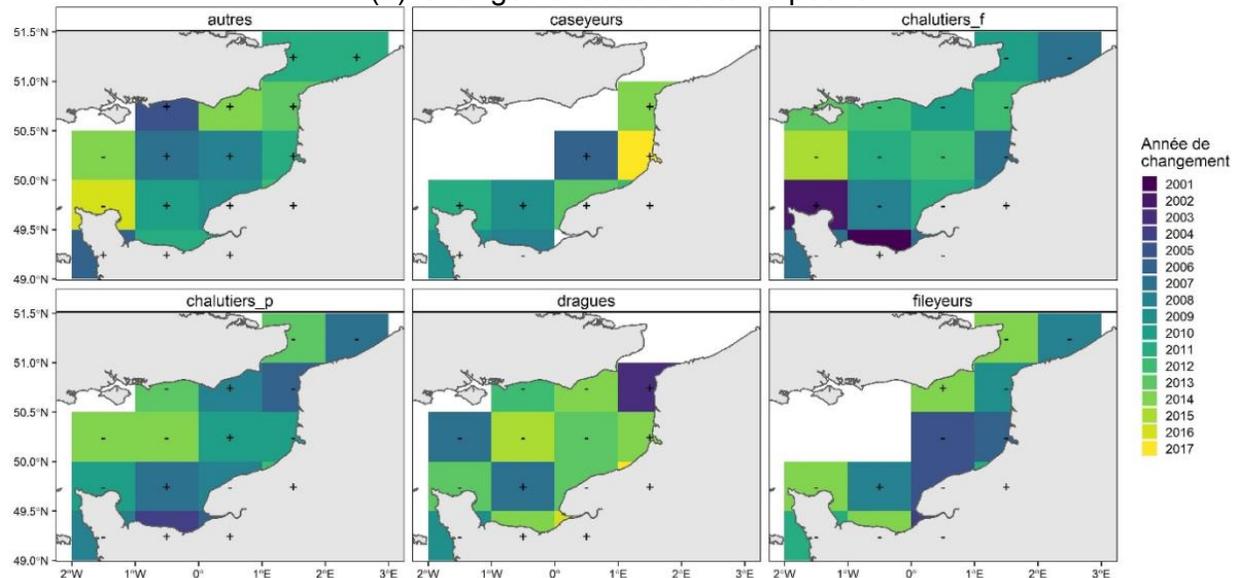


Figure 10 : Points de changement des captures (a) et des efforts de pêches (b) par zone. Les couleurs correspondent à l'année de changement, les signes (+) correspondent à une augmentation des captures ou de l'effort de pêche et les signes (-) à une baisse des captures ou de l'effort de pêche.

### 3.2 Perception des pêcheurs

Les enquêtes ont été réalisées auprès de 17 patrons de pêche membres de l'organisation de producteur FROM Nord. Les échantillons ont été répartis de la manière suivante : 9 patrons de pêche à Boulogne-sur-Mer, 4 au Tréport et 4 à Fécamp. Les patrons de pêche ont une expérience moyenne dans la pêche de  $29 \pm 7$  ans (minimum de 15 ans et maximum de 40 ans). La taille de leur navire est en moyenne de  $14 \pm 4$  m.

#### 3.2.1 Adaptation des pêcheurs

70 % des pêcheurs enquêtés sont polyvalents c'est-à-dire qu'ils pratiquent plusieurs métiers. 42 % ont procédé à des changements récents d'engins de pêche, motivés par la diminution ou le déplacement des ressources. Un pêcheur a informé qu'il a ajouté un autre engin de pêche pour diversifier ses captures dans le but d'accroître ses revenus en vente directe.

La diversification d'engin de pêche se manifeste principalement par l'ajout d'un nouvel engin de pêche. Les chalutiers s'équipent de dragues (40 %) et parfois de senne (10 %, un seul pêcheur). Certains fileyeurs déploient des casiers pour diversifier leurs activités (43 %, figure 11). Ces ajouts de nouvel engin de pêche sont apparus à partir de 2008 (figure 11). Par ailleurs, au sein d'une même catégorie d'engin de pêche, il peut y avoir une augmentation du nombre d'engins déployés ou l'ajout d'un nouveau type de chalut (par exemple, en plus de son chalut à panneaux, un pêcheur a ajouté un chalut bœuf).

Les baisses de captures contraignent les pêcheurs à s'adapter en changeant leur zone de pêche. Ce dernier point a été signalé par 76 % des professionnels enquêtés. La majorité de ces changements a été causée par la diminution ou le déplacement des ressources (88 %). Les autres raisons évoquées sont la saisonnalité et les conséquences du Brexit.

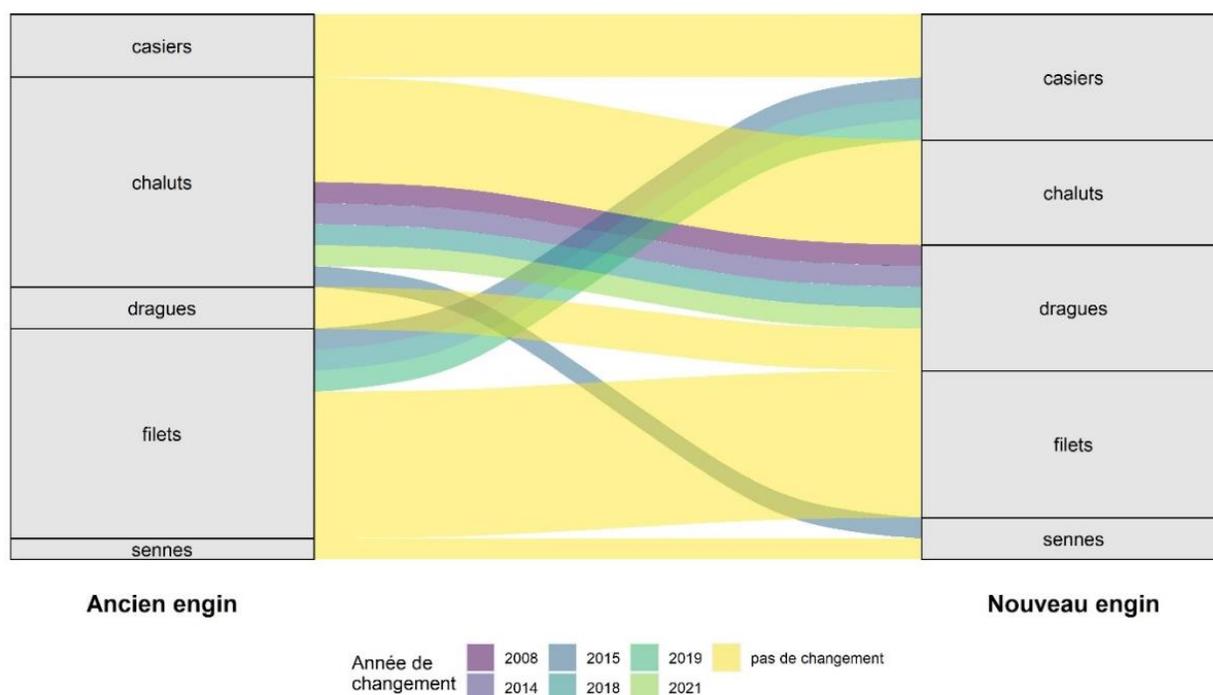


Figure 11 : Évolution des engins utilisés par les pêcheurs interrogés dans le temps, la couleur correspond à l'année de changement.

#### 3.2.2 Perception des pêcheurs sur l'abondance des ressources exploitées

La perception des pêcheurs sur l'abondance des captures a été comparée avec les débarquements enregistrés par les données SACROIS et les quotas de certaines espèces (figure 12). Les pêcheurs estiment tous que les captures sont en diminution à partir de la

période 2010-2015 environ (figure 12). Globalement, leurs perceptions semblent aller de pair avec les tendances des données de captures de SACROIS (surtout pour la limande et la sole).

Les pêcheurs enquêtés perçoivent une légère hausse des maquereaux vers 2015 correspondants à la hausse du quota alors que les captures restent relativement stables. Le quota du merlan indique une augmentation depuis 2010, toutefois, les captures et les perceptions soulignent plutôt des tendances en baisse. Ce même constat a également été observé avec la morue et la plie à partir de 2015 (figure 12). Le rouget montre des captures assez variables d'une année à une autre, de ce fait, la perception ne suit pas ces tendances annuelles, mais plutôt la tendance générale de 5 ans d'intervalle. Pour la seiche, entre 2000 et 2010, les perceptions correspondent relativement aux captures. Alors qu'au-delà de 2010, les perceptions sont assez élevées par rapport aux captures (figure 12).

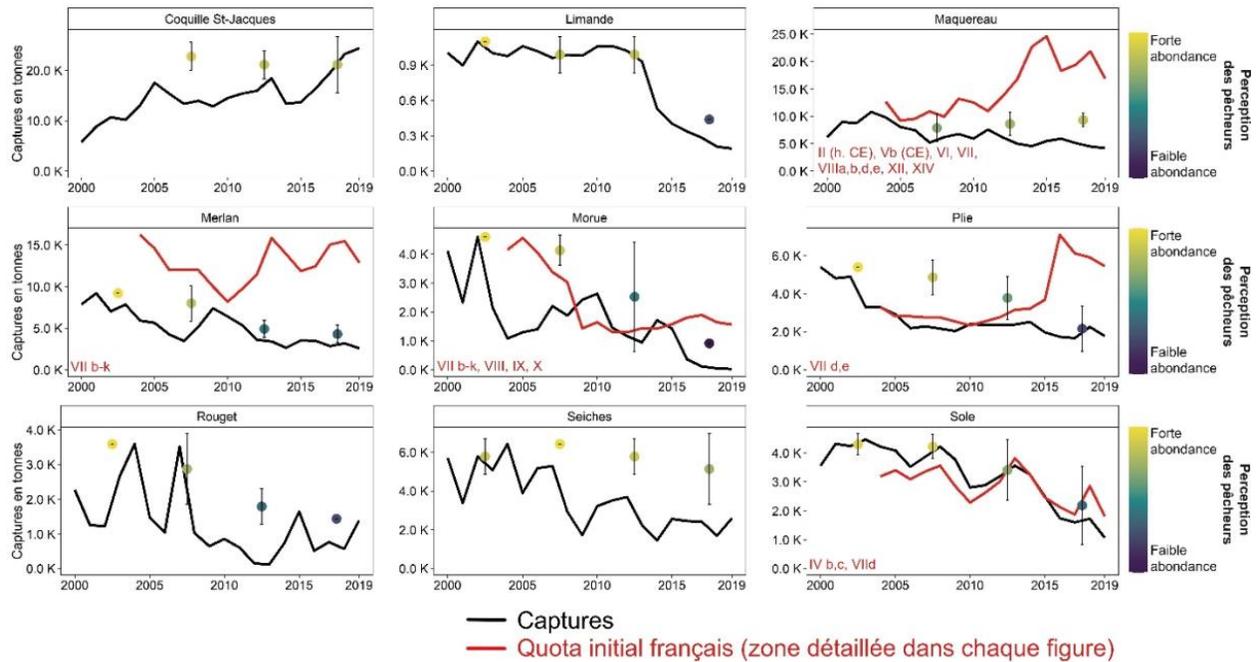


Figure 12 : Perception des pêcheurs par rapport à l'abondance des ressources exploitées. Les perceptions sont représentées par des points et regroupent l'intervalle de 5 années. Les lignes noires représentent les captures observées dans les données SACROIS, et les lignes rouges les quotas initiaux français.

### 3.2.3 Spatialisation des perceptions des pêcheurs

Une grande majorité des pêcheurs enquêtés a remarqué une apparition des phoques sur les côtes françaises entre 2000 et 2010, allant de la baie de Seine jusqu'à la frontière belge (figure 13). À partir de 2018, les pêcheurs ont constaté l'apparition des araignées de mer dans toutes les zones françaises (figure 13).

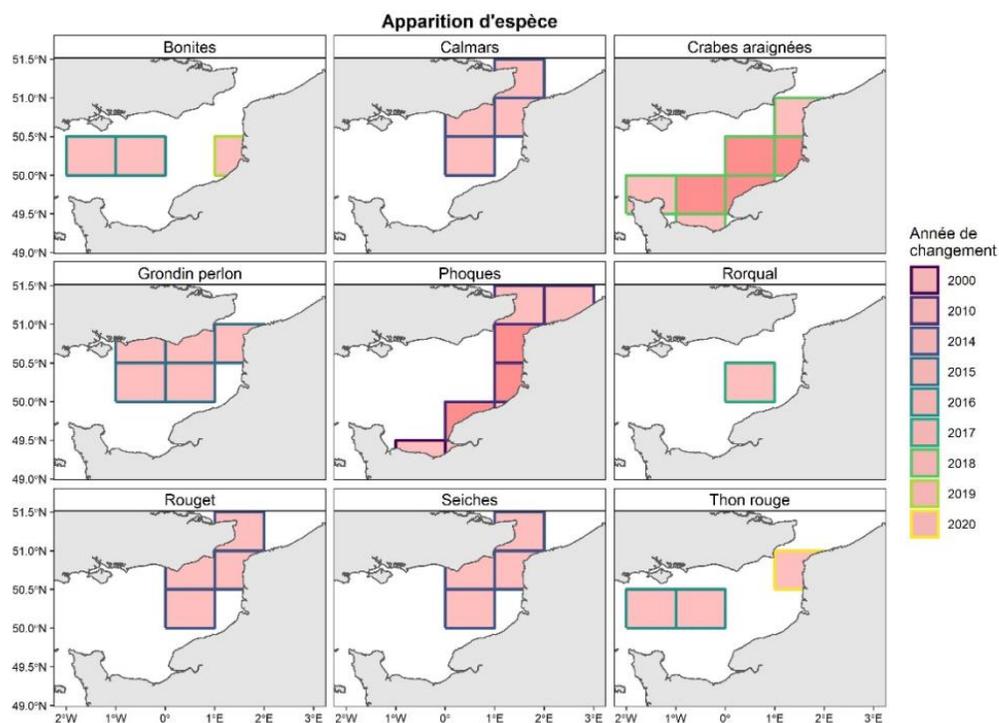


Figure 13 : Perception des pêcheurs sur l'apparition d'espèce. L'opacité de la couleur d'un rectangle statistique (de rouge clair à foncé) représente le nombre de pêcheurs ayant la même perception de l'apparition de l'espèce sur ce rectangle. Les contours des carrés statistiques affichent les années où ils perçoivent l'apparition (dans le cas où les pêcheurs mentionnent des années différentes sur un même rectangle, l'année la plus représentative des avis a été affichée sur la figure).

Tous les pêcheurs enquêtés font le constat d'une raréfaction de la morue en Manche Orientale entre 2014 et 2017 (figure 14). Les avis sont spécifiques à un seul pêcheur sur le déclin du chincharde (au large des côtes du Royaume-Uni), du grandin rouge (au large du Fécamp), du lieu jaune (au nord de la Manche Orientale) ou de la moule (sur toutes les côtes de la France).

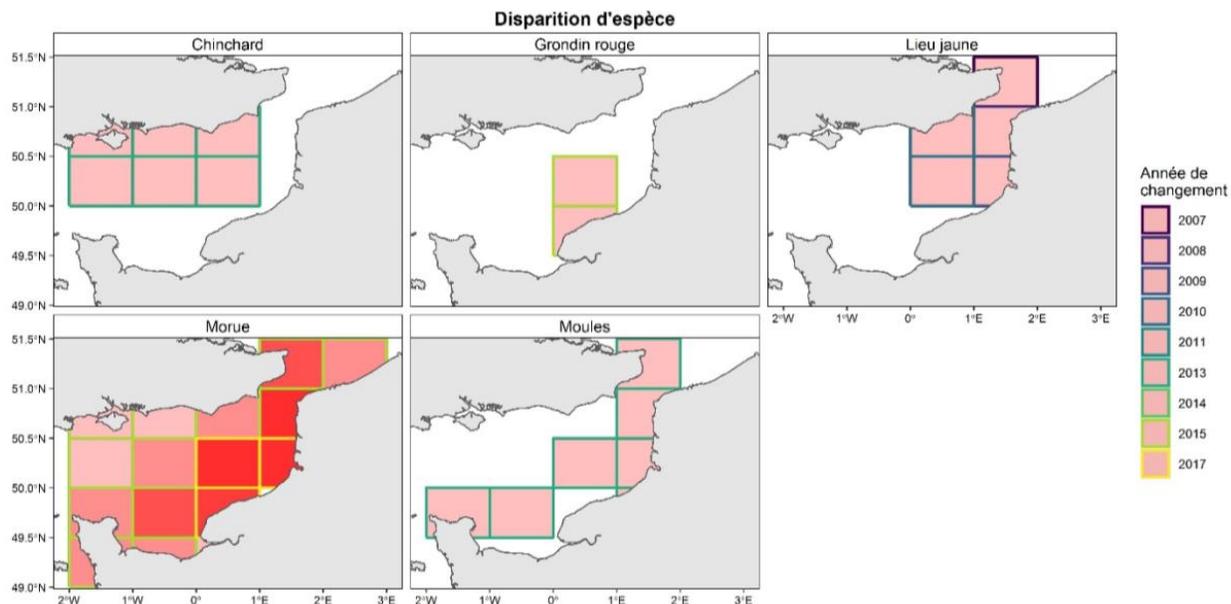


Figure 14 : Perception des pêcheurs sur la disparition d'espèce. L'opacité de la couleur d'un rectangle statistique (de rouge clair à foncé) représente le nombre de pêcheurs ayant la même perception de la disparition de l'espèce sur ce rectangle. Les contours des carrés statistiques affichent les années où ils perçoivent la disparition (dans le cas où les pêcheurs mentionnent des années différentes sur un même rectangle, l'année la plus représentative des avis a été affichée sur la figure).

La plupart des pêcheurs enquêtés s'accordent sur la forte augmentation du calmar, d'araignées et de rougets (figure 15). Les pêcheurs ont constaté une présence importante de calmar à partir de 2015 au large du nord de la France. La présence d'araignées a été perçue sur toutes les côtes de la Manche, mais entre 2010 et 2015. L'augmentation des rougets-barbets a été observée plus au centre de la Manche Est en 2015 (figure 15).

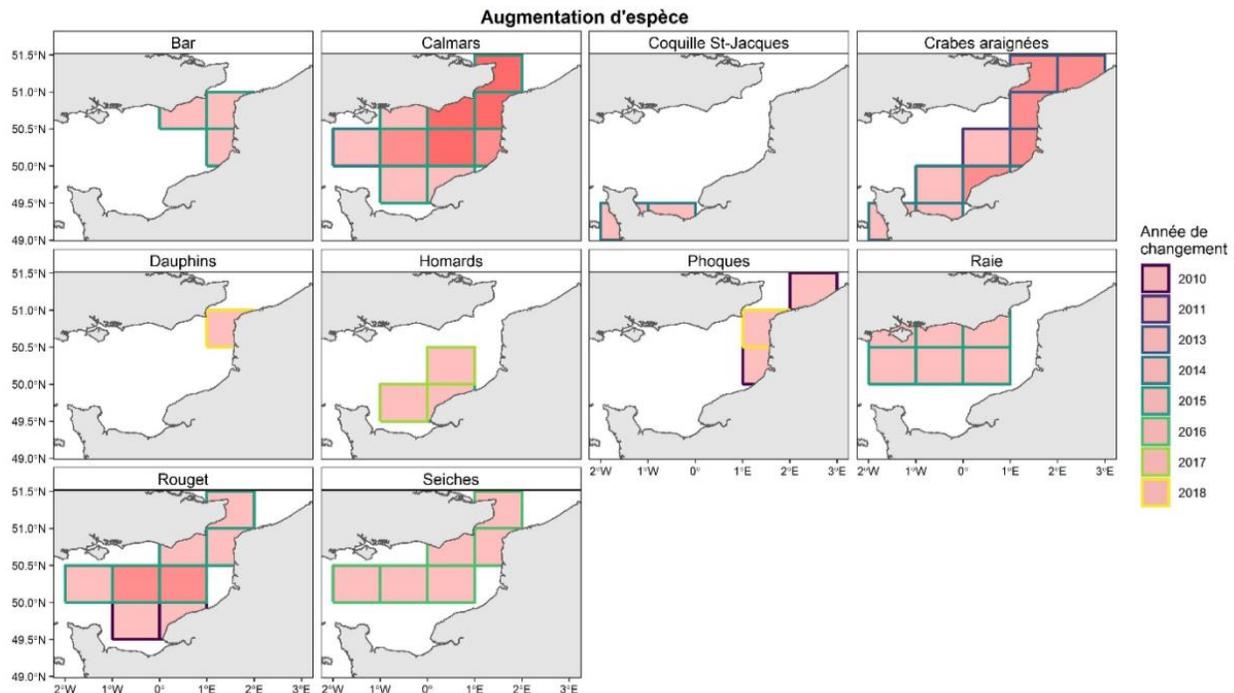


Figure 15 : Perception des pêcheurs sur l'augmentation d'espèce. L'opacité de la couleur d'un rectangle statistique (de rouge clair à foncé) représente le nombre de pêcheurs ayant la même perception de la forte augmentation de l'espèce sur ce rectangle. Les contours des carrés statistiques affichent les années où ils perçoivent l'augmentation (dans le cas où les pêcheurs mentionnent des années différentes sur un même rectangle, l'année la plus représentative des avis a été affichée sur la figure).

### 3.2.4 Perception des pêcheurs sur les interactions entre espèces

L'objectif de la question a été d'obtenir est d'avoir une idée sur les connaissances des pêcheurs par rapport aux liens qu'ils aperçoivent entre deux espèces (impact positif ou négatif) ; et d'essayer de construire la matrice des impacts trophiques mixtes (MTI) à partir de l'expertise des pêcheurs. Afin de simplifier la question pour les pêcheurs, une interaction positive a été définie comme la constatation d'une forte abondance d'une espèce A qui favorise potentiellement la forte abondance d'une autre espèce B. A contrario, une interaction négative se présente comme une forte abondance d'une espèce A qui pourrait provoquer une diminution dans l'abondance d'une espèce B. Le but de cette partie est également de pouvoir comparer ces interactions entre espèces obtenues par les perceptions avec celles obtenues par le modèle OSMOSE.

Presque tous les professionnels enquêtés perçoivent davantage d'interactions positives que négatives entre les espèces. Les impacts positifs de la plie sur la sole sont les plus évoqués (figures 16). Ils constatent également une interaction positive entre le hareng et le bar, ainsi qu'entre le hareng et l'encornet, le rouget-barbet et la seiche, le maquereau et la sardine. La seule interaction négative entre espèces dont ils font part est celle entre le calmar et la morue (figure 16).

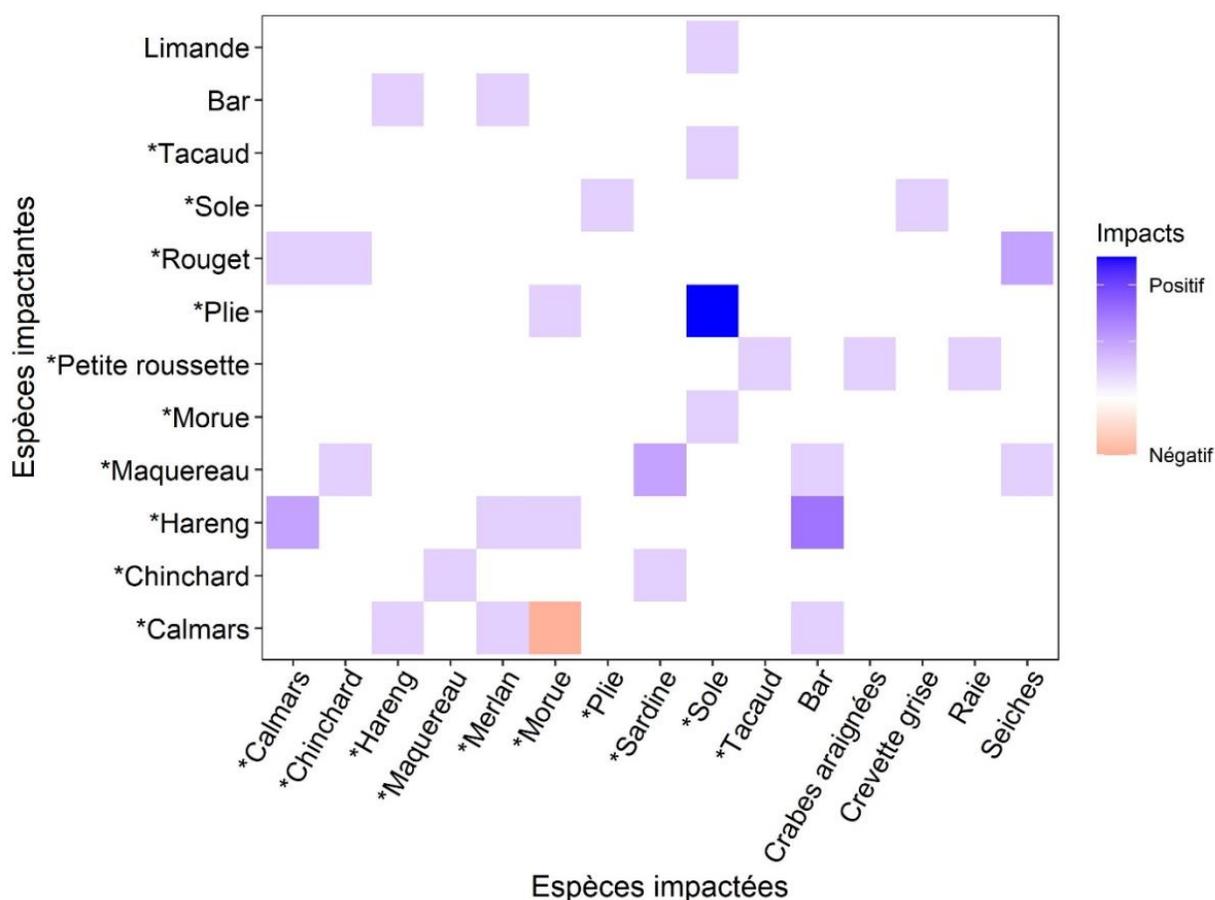


Figure 16 : Représentation des impacts trophiques mixtes perçue par les pêcheurs. L'opacité des couleurs montre si l'avis est partagé par plusieurs pêcheurs (plus les couleurs sont foncées plus l'avis est représentatif). \* espèces dans le modèle OSMOSE.

### 3.2.5 Menaces sur la pêche

Des questions ouvertes ont été posées aux pêcheurs concernant les menaces qui pourraient peser sur la pêche à court ou moyen terme. Les avis ont été regroupés (figure 17).

À court ou à moyen terme, la menace qui pèse le plus sur les activités de pêche selon les avis des enquêtés est la pression de pêche de la senne danoise. De plus, ils sont conscients que leurs bateaux sont de plus en plus performants, et qu'ils exercent une grande pression sur les ressources. Certains considèrent même que les ressources sont trop rapidement capturées et qu'elles n'ont pas le temps de se déplacer ou de se reproduire. Toutefois, la pression de pêche d'autres engins est également citée (les engins dormants ou trainants), les pêcheurs ayant tendance à penser que les engins de pêche concurrents sont plus impactant.

À court terme, selon les 14 % des professionnels enquêtés, les conflits d'usage (avec principalement les éoliennes) pourraient menacer leur activité de pêche (figure 17). À moyen terme, les pêcheurs considèrent que la pollution (11 %) ou la mauvaise gestion (11 %) sont des menaces pour la pêche (figure 17).

S'agissant de leurs perceptions sur l'évolution des poissons plats, les pêcheurs (48 %) sont d'avis que c'est la pression de pêche qui est le plus préoccupante (figure 17). Ils ont évoqué principalement la senne danoise et la pêche électrique. La surexploitation (12 %) est également perçue comme menace. 12 % des pêcheurs remarquent que l'invasion des araignées pourrait impacter la pêche aux poissons plats (figure 17). Une minorité de pêcheurs seulement a cité le changement climatique comme menace de la pêche des poissons plats et à court terme pour la pêche en général.

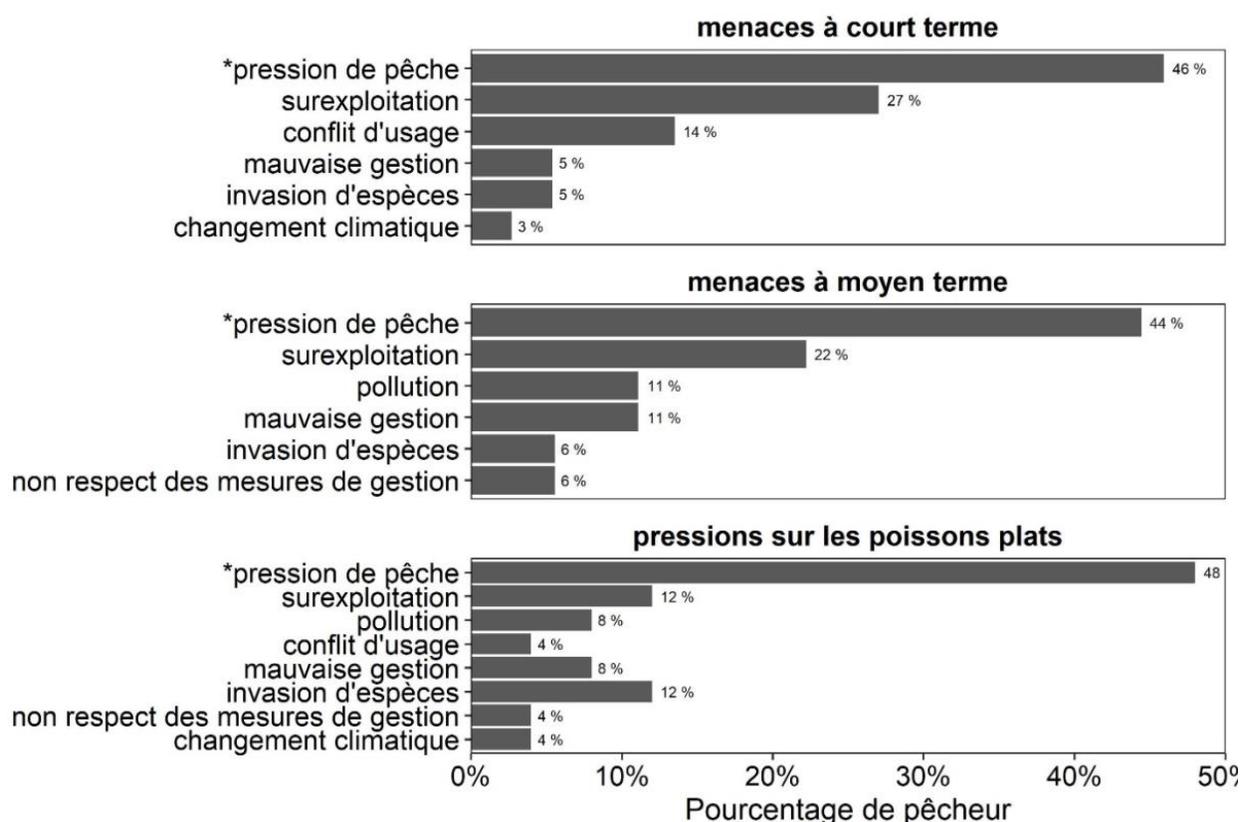


Figure 17 : Perception des pêcheurs sur les menaces qui pèsent sur leur activité de pêche (à court et moyen terme, ainsi que sur les poissons plats). \*la pression de pêche est représentée à 90 % par la senne danoise.

### 3.3 OSMOSE Manche Orientale

#### 3.3.1 Réponse potentielle des poissons plats à différentes stratégies de pêche

Le modèle OSMOSE étant un modèle stochastique, 15 simulations ont été réalisées pour chaque stratégie. De ce fait, pour une stratégie, il y a plusieurs résultats. Chaque stratégie a été donc présentée par un diagramme en boîte pour représenter les 15 simulations.

La première stratégie a consisté à changer la pression de pêche espèce par espèce en utilisant un multiplicateur de la mortalité par pêche. La seconde a été de simuler un changement de pression de pêche au niveau des flottilles en ciblant un groupe d'espèces à la fois. Le modèle OSMOSE utilisé dans cette étude ne prenant pas en compte les flottilles, la stratégie par flottilles a été appliquée comme étant une pression de pêche sur les combinaisons d'espèces cibles de chaque flottille.

##### 3.3.1.1. Stratégie de pêche par espèce

Il semble que l'augmentation de la pression de pêche (par un multiplicateur de mortalité par pêche) sur le maquereau ou sur la petite rousette entraîne une baisse de la biomasse de la plie (figure 18a). Cette diminution est plus prononcée pour le maquereau. Toutefois, la biomasse de la plie est au plus bas quand la pression de pêche sur la morue est nulle (figure 18a).

D'après les résultats du modèle, l'intensification de la pression de pêche sur le merlan et la plie provoquerait la hausse de la biomasse de la sole. À l'inverse, il semble que l'augmentation de la mortalité par pêche sur le maquereau induirait une baisse de la biomasse de sole (figure 18b). La figure 18 indique aussi que la pression de pêche sur la morue pourrait impacter la biomasse de la plie.

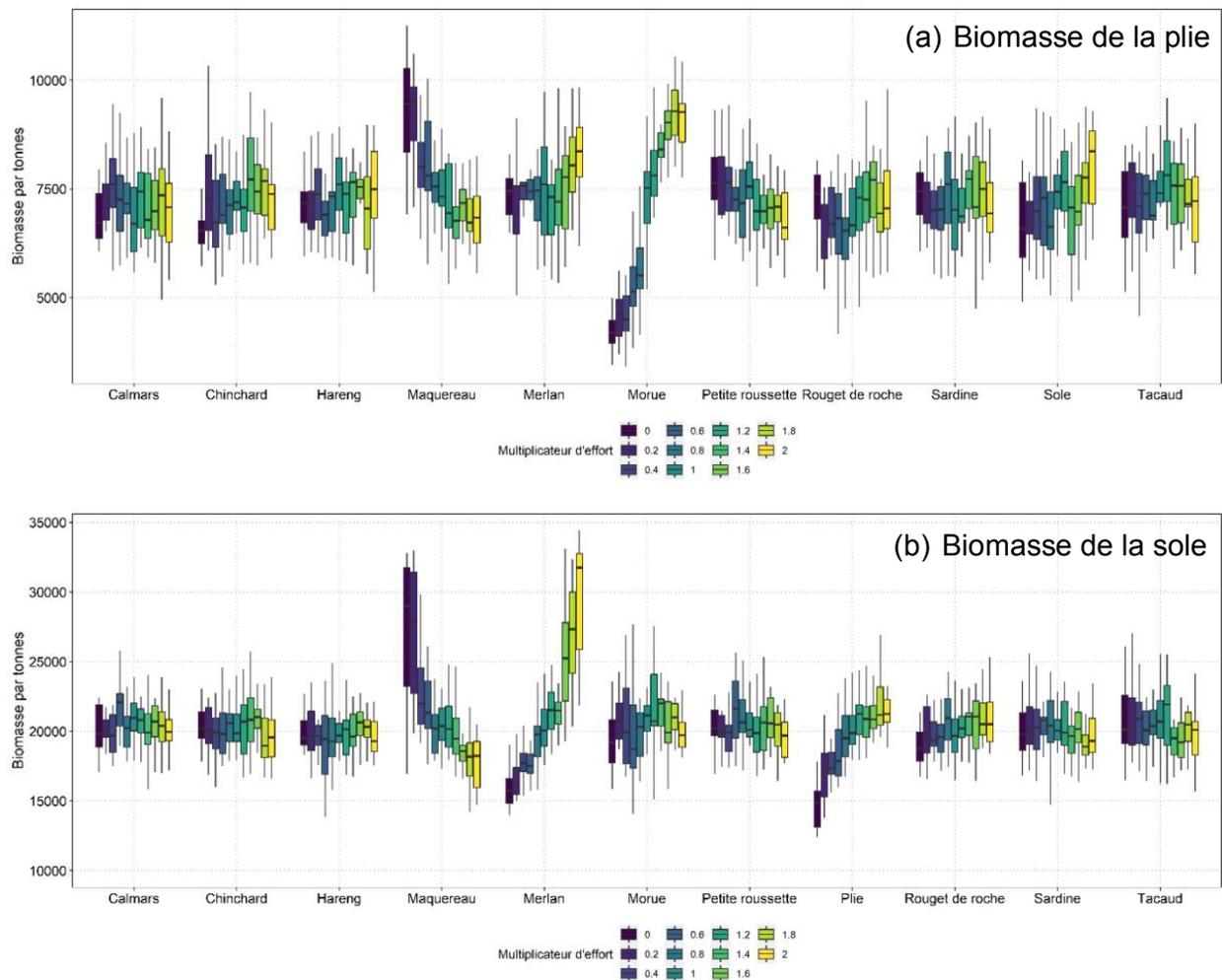


Figure 18 : Changement de la biomasse de la plie (a) et de la sole (b) en fonction des multiplicateurs de mortalité par pêche appliqués sur les autres espèces. La couleur représente les multiplicateurs de mortalité par pêche (de 0 à 2).

Selon les résultats du modèle, le niveau trophique de la plie évolue également avec la pression exercée sur la morue (figure 19a). À la différence de la biomasse, l'augmentation de la pression de pêche sur le maquereau affecte positivement le niveau trophique de la plie. Les résultats du modèle montrent que l'accroissement de la mortalité par pêche sur le merlan provoque une diminution du niveau trophique de la plie (figure 19a).

D'après les résultats du modèle, seule la modification de la pression de pêche sur la plie semble impacter négativement le niveau trophique de la sole (figure 19b).

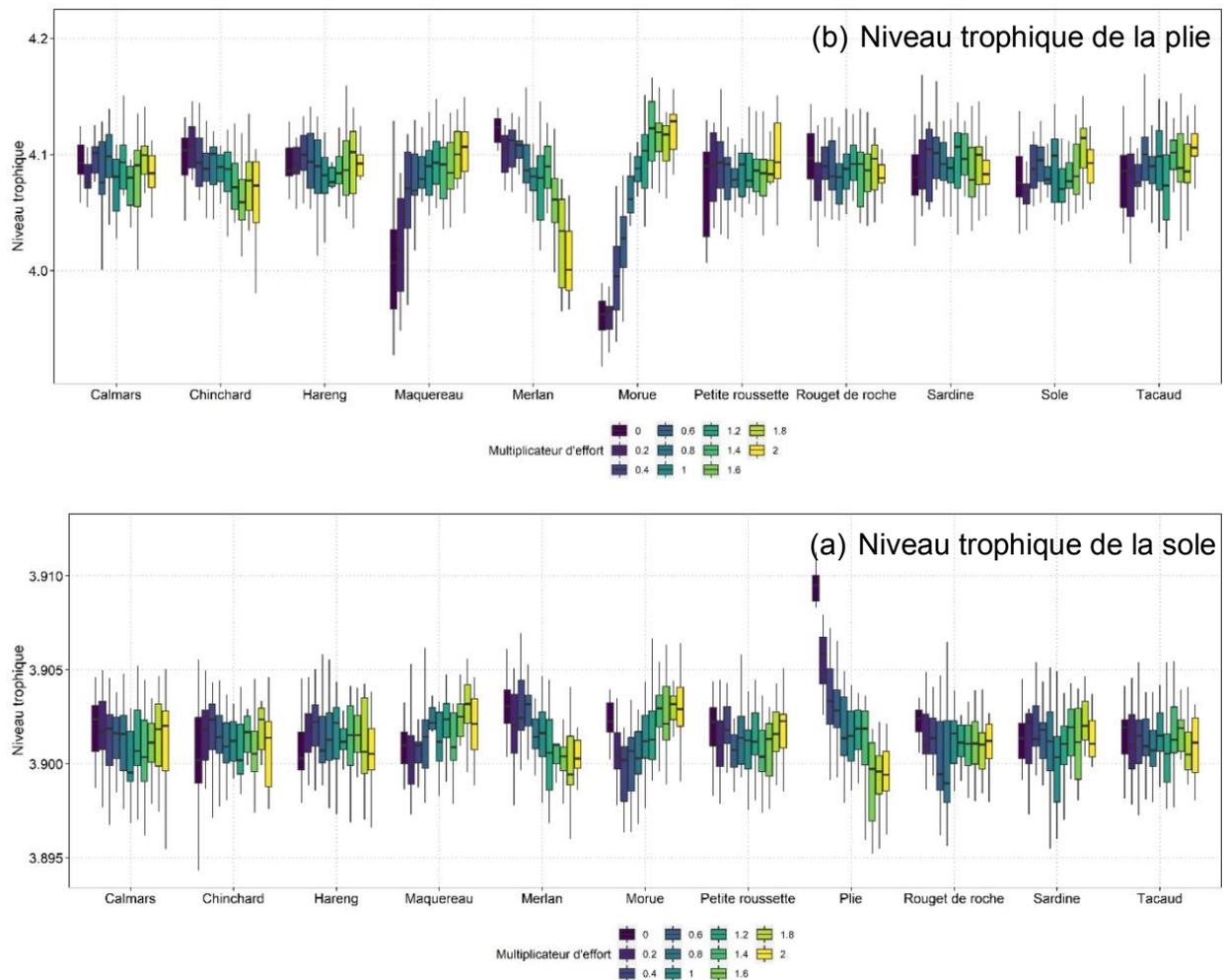


Figure 19 : Changement du niveau trophique de la plie (a) et de la sole (b) en fonction des multiplicateurs de mortalité par pêche appliqués sur les autres espèces du réseau trophique. La couleur représente les multiplicateurs de mortalité par pêche (de 0 à 2).

### 3.3.1.1 Stratégie de pêche par flottilles

D'après les sorties des simulations, une forte mortalité par pêche induite par les chalutiers de fond impacte considérablement la biomasse de plie. Inversement, sans pression de pêche de la part du chalut de fond, la biomasse de la plie serait très forte (figure 20a). L'augmentation de la pression de pêche des fileyeurs pourrait également provoquer une diminution relative de la biomasse de la plie (figure 20a).

Contrairement à la plie, les simulations de la biomasse de sole croient quand la pression de pêche des chalutiers de fonds est en augmentation. Cela se remarque également avec les senneurs (figure 20b). Il semble que les chalutiers pélagiques impactent plus la biomasse de sole, une pression de pêche nulle de cette flottille favoriserait la biomasse de sole (figure 20b).

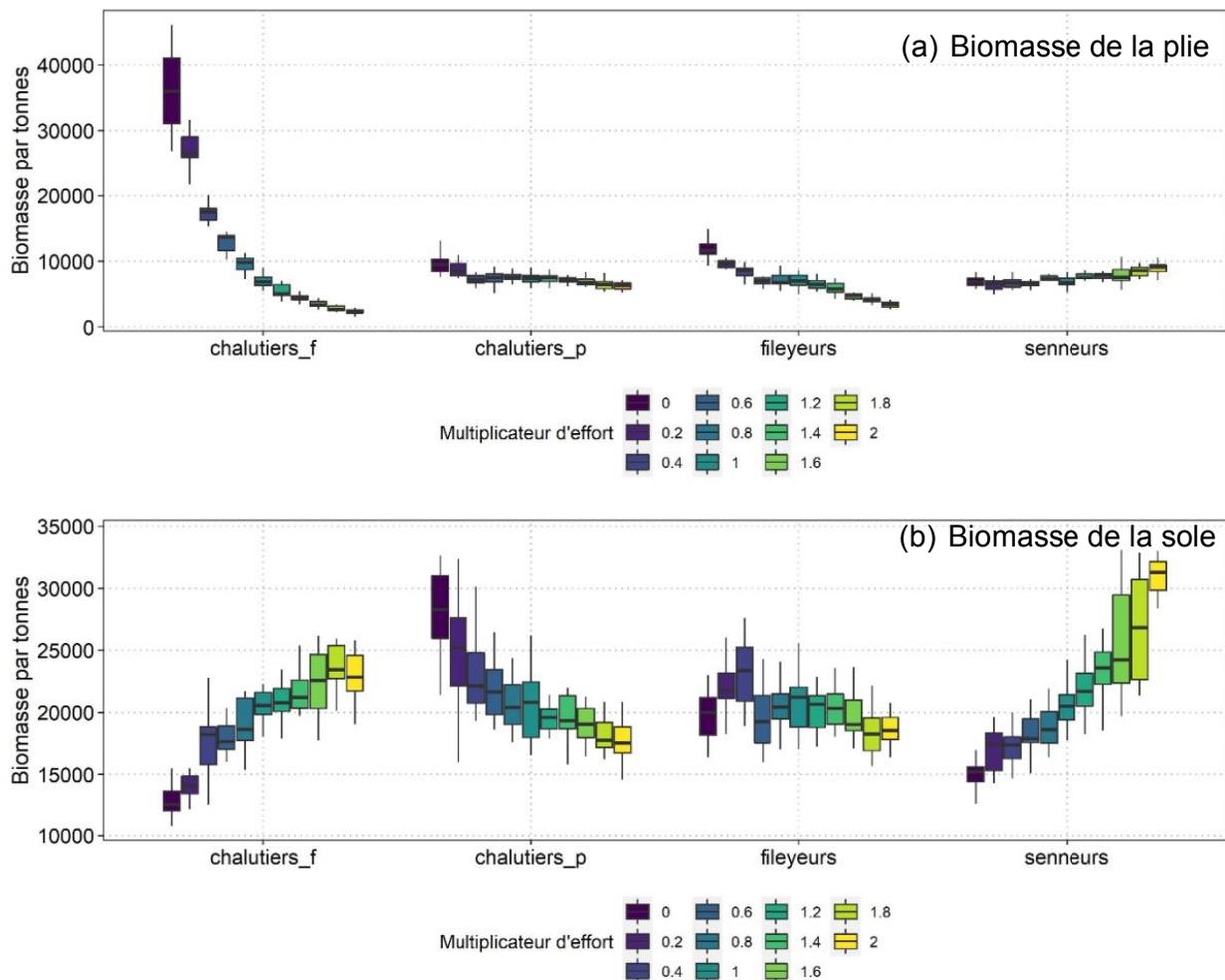


Figure 20 : Changement de la biomasse de la plie (a) et de la sole (b) en fonction des multiplicateurs de mortalité par pêche appliqués sur les mortalités par pêche par flottille. La couleur représente les multiplicateurs de mortalité par pêche (de 0 à 2).

De la même manière qu'avec la biomasse, les résultats du modèle indiquent que la pression de pêche aux chaluts de fond affecte le niveau trophique de la plie de manière considérable (figure 21a). Cela est relativement le cas pour les fileyeurs et les senneurs. Il semble que l'augmentation de la mortalité par pêche due aux chalutiers pélagiques entraîne une hausse du niveau trophique de la plie (figure 21a).

Contrairement à la biomasse, les résultats du modèle montrent que la pression de pêche des chalutiers de fond et des senneurs affecte négativement le niveau trophique de la sole (figure 21b).

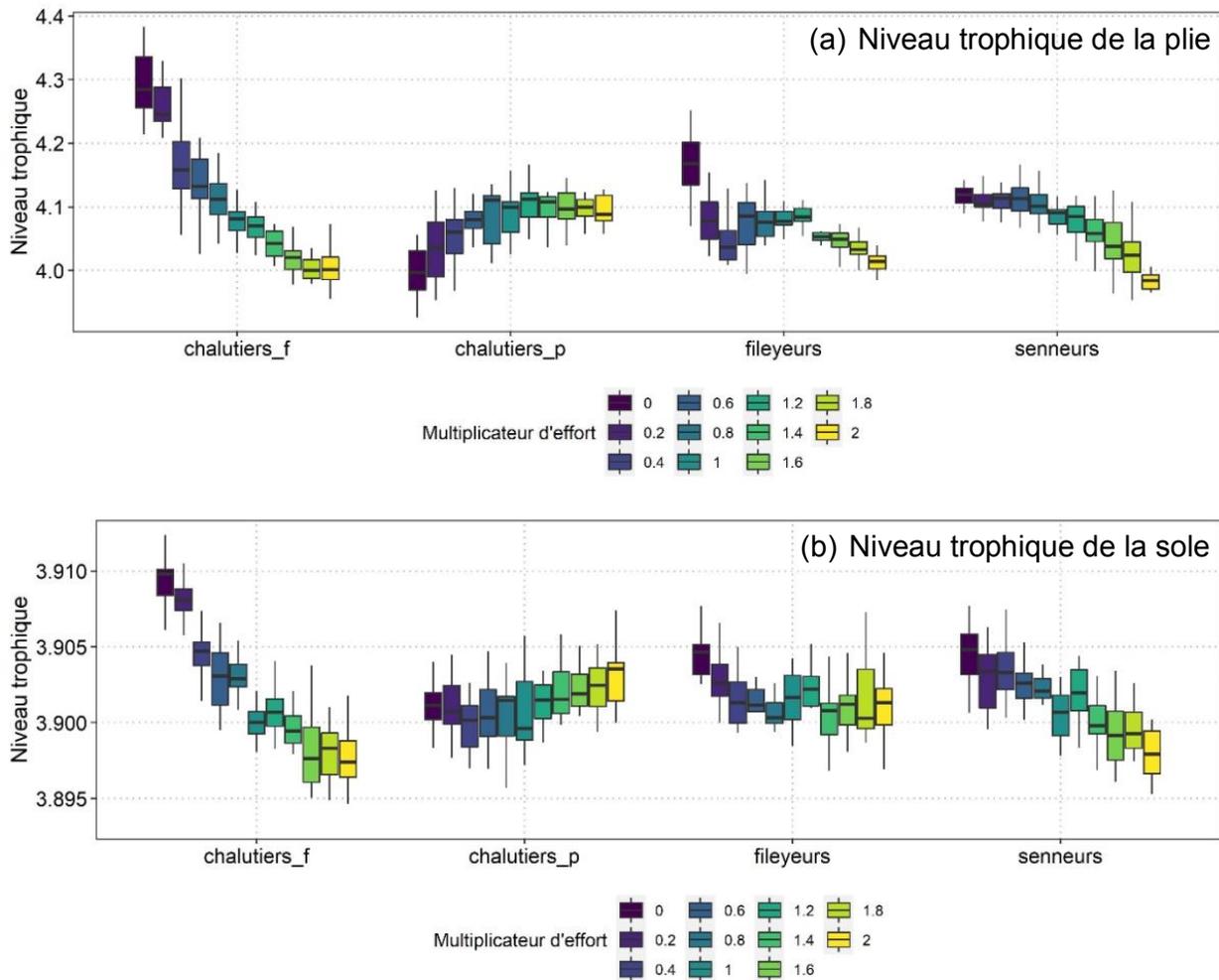


Figure 21 : Changement du niveau trophique de la plie (a) et de la sole (b) en fonction des multiplicateurs de mortalité par pêche appliqués sur les mortalités par pêche par flottille. La couleur représente les multiplicateurs de mortalité par pêche (de 0 à 2).

### 3.3.2 Indicateur d'espèce clé de voûte (Keystone index)

Une espèce clé de voûte est une espèce qui a un effet disproportionné dans un écosystème vis-à-vis de sa population (Paine, 1969). D'après les résultats du modèle, il semble que la petite roussette joue un rôle clé dans le réseau trophique de la Manche Orientale (figure 22). Cela est également le cas de la sole et du merlan. Selon les simulations, l'espèce ayant une incidence relativement négligeable sur le réseau trophique est le hareng.

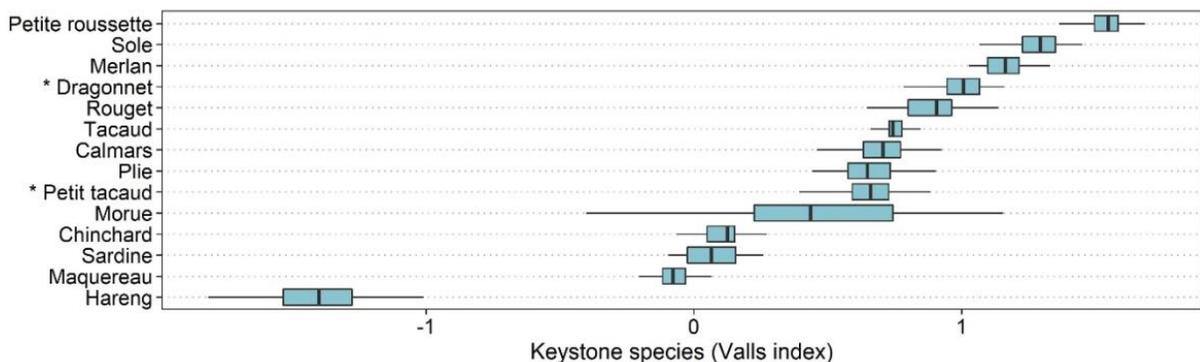


Figure 22 : Espèces clés de voûte selon le modèle OSMOSE. Le modèle OSMOSE étant stochastique, 15 simulations ont été réalisées. De ce fait, chaque diagramme en boîte représente ces 15 simulations.

### 3.3.3 Interactions entre espèces dans le modèle OSMOSE

Selon les résultats du modèle, la plupart des espèces ont un impact négatif sur elles-mêmes, sauf pour la morue (où l'impact est nul). Dans la plupart des cas, les espèces pélagiques (le tacaud, la sardine, le maquereau, et le chinchard) ont principalement des interactions positives avec au moins un quart des espèces dans le modèle OSMOSE (figure 23). Le calmar présente également des impacts positifs sur le chinchard, le maquereau et la petite roussette.

Concernant les poissons plats, la plie est impactée négativement par le merlan ainsi que par la petite roussette (figure 23). La plie a également un impact modérément positif sur la morue. La sole est surtout impactée négativement par le dragonnet et le merlan. Elle a des impacts négatifs sur le dragonnet, le petit tacaud, la petite roussette et le tacaud commun. Toutefois, elle a des impacts relativement positifs sur le merlan et la morue (figure 23).

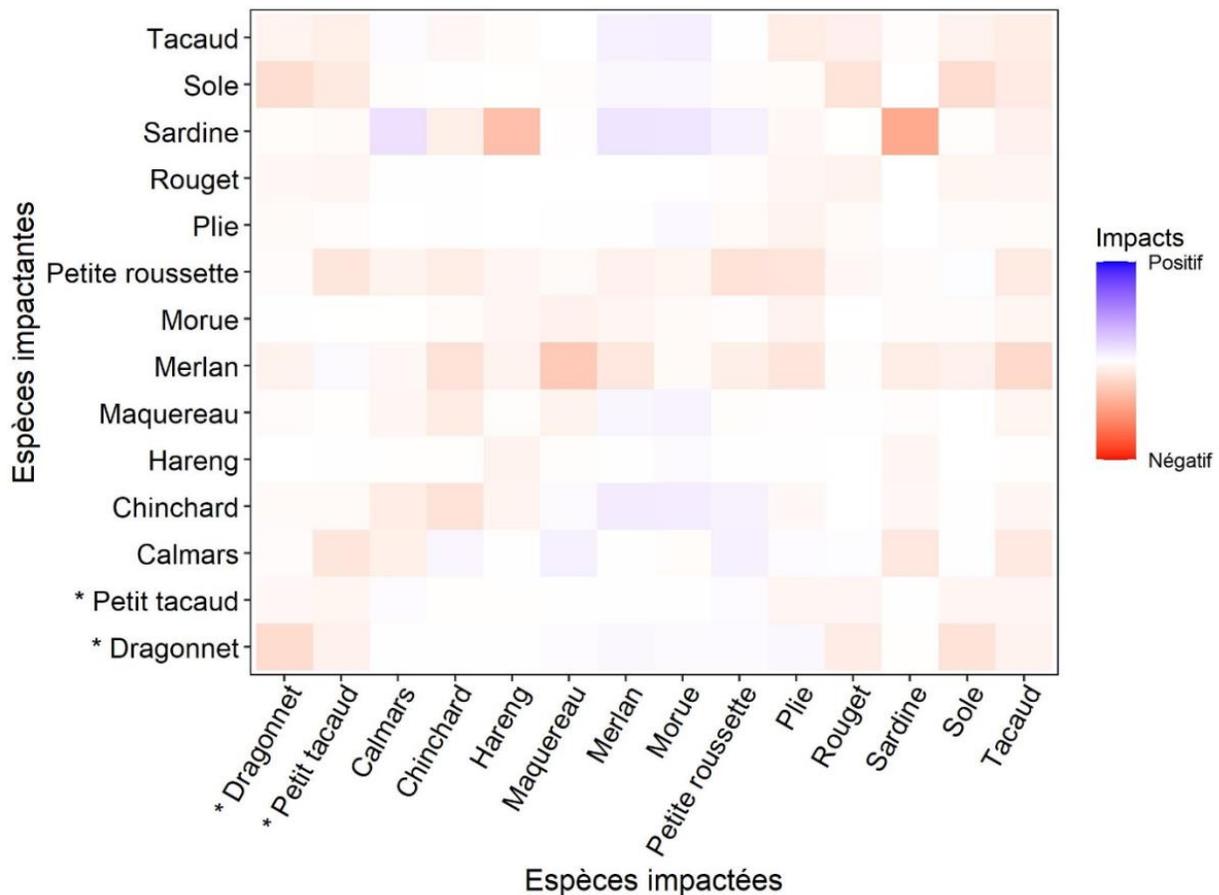


Figure 23 : Impacts trophiques mixtes calculés à partir des sorties du modèle OSMOSE. \* espèces non exploitées.

## 4 Discussions

L'objectif de cette étude a été de réaliser un diagnostic de l'état de la pêcherie en Manche Orientale. Trois approches ont été mises en place pour mieux comprendre les interactions trophiques entre les principales espèces exploitées et les différentes activités de pêche.

### 4.1 Diagnostic de l'état de la pêcherie

#### 4.1.1 Diminution d'une grande partie des ressources exploitées

L'approche point de changement a permis de constater une diminution des captures françaises de la majorité des espèces exploitées sur la zone étudiée (figure 7, 8, 9a). Ce constat s'étend sur toute l'écorégion Mer du Nord puisque les débarquements sont passés de 4 millions de tonnes par année entre 1960 et 1990 à 1,4 million seulement en 2012 (ICES, 2017a). Il faut noter que les captures peuvent être restreintes par des mesures de gestion. Par conséquent, il est important de considérer toutes les mesures de gestion en place en Manche Orientale sur la série d'années explorée. Cela dans le but de mieux interpréter les résultats de cette approche.

D'une part, il y a les quotas des espèces qui limitent les taux d'exploitation. Parmi les espèces en baisse de captures, sept espèces (chinchard, hareng, morue, maquereau, merlan, plie et sole) sont soumises à des quotas avec une gestion au RMD. Le bar a été récemment géré au RMD, avec mise en place d'un plan de gestion de précaution (ICES, 2021). Le grondin rouge (ICES, 2015) et la petite roussette (ICES, 2017b) sont plutôt gérés via l'approche de précaution. Le rouget et la limande sont également gérés au travers de l'approche de précaution. Toutefois en 2019, le CIEM n'a plus émis d'avis sur ces deux espèces, car le risque de ne pas limiter les captures a été considéré comme faible et ne contredit pas la PCP (ICES, 2019a, 2019b).

D'autre part, il existe des mesures de restriction, qui peuvent affecter drastiquement les captures d'une année à une autre à l'exemple de la sardine. Puisque son point de changement en 2009 (figure 7) est la conséquence d'une interdiction de capture fixée par un règlement sanitaire (Arrêté n° 10-20 du 8 février 2010). Les sardines en baie de Seine ont été contaminées en polychlorobiphényles ou PCB, de ce fait sa commercialisation et sa consommation ont été interdites. Des plans de reconstitution de stock peuvent également affecter les captures. Le stock de morue a connu des mesures de reconstitution dans l'écorégion Mer du Nord (Règlement [CE] n° 423/2004 du Conseil du 26 février 2004, revisité en par le Règlement [CE] n° 1342/2008 du Conseil du 18 décembre 2008). Cette reconstitution est passée par une diminution de nombre de jours de pêche, et l'Arrêté du 29 novembre 2012 a été également établi avec un plan de sortie de flotte. Le point de changement en baisse de la capture de la morue a été remarqué en 2012 (figure 7). Toutefois chaque mesure de recadrement de l'effort de pêche est remarquée plutôt dans la tendance des captures en 2004-2006 et 2011-2013 (figure 12).

D'ailleurs, cette raréfaction des captures de la morue est aussi évoquée par les pêcheurs à partir de la période 2010-2015 et s'accroissant entre 2015-2019 (figure 12). Les zones de diminution sont assez semblables entre l'approche point de changement (figure 8) et la perception des pêcheurs (figure 14) malgré quelques années de décalage. Il faut préciser que les changements mentionnés par les pêcheurs sont plus fréquents (après 2010), un biais qui pourrait être dû au fait que les pêcheurs se rappellent plus des événements les plus récents.

Généralement, la perception des pêcheurs est en accord avec l'approche de point de changement sur la diminution de la plupart des ressources entre 2007 et 2014. La figure 12 montre effectivement une correspondance entre les ressentis des pêcheurs et les captures. Toutefois, cette figure exprime aussi qu'il y a parfois un décalage entre les avis scientifiques (les quotas) et la perception des pêcheurs. À titre d'exemple, les captures et la perception de la plie sont très différents des quotas initiales (VII d,e) à partir de 2015 (figure 12). Ce décalage pourrait être expliqué par le fait qu'un stock n'a pas une distribution homogène au sein d'une unité de gestion et qu'à une échelle locale la perception des pêcheurs peut ne pas concorder

avec l'avis scientifique. Il faut noter que pour la plupart des quotas d'espèces pélagiques, l'aire de répartition s'étend au-delà de la Manche Orientale (à l'exemple du maquereau où le quota est réparti sur une très grande zone II, Vb, VI, VII, VIIIa, b, d,e, XII, XIV ; mais c'est le cas relativement du chinchard, du merlan ou de la morue).

Pour s'adapter à cette diminution globale des ressources, les pêcheurs ont eu pour stratégie de devenir plus polyvalents en changeant de métier au cours de l'année en fonction des espèces cibles (figure 11). Cette polyvalence leur permet d'avoir plus de diversité dans leurs captures. Ils élargissent également leurs zones de pêche. Les points de changement de l'effort de pêche des flottilles sur la figure 10b confirment cette réflexion.

Les points de changements près des côtes françaises sont plus anciens que ceux au large (près des côtes britanniques) pour les chalutiers et les fileyeurs. Pour les espèces, cela a été remarqué pour la dorade grise, le hareng, le maquereau, le merlan et la morue (figure 8). Avant 2010, l'effort de pêche est surtout concentré sur les côtes françaises et les côtes anglaises sont moins fréquentées à cause des réglementations limitant les accès à 6 milles de l'état riverain (Delpech et al., 2007).

Pour les cas des points de changement négatifs, il n'y a pas de corrélations entre ceux des captures et des efforts de pêche (figure 9). L'effort de pêche et les captures des fileyeurs et des chalutiers sont en baisse. En effet, les années de diminution de l'effort de pêche ne coïncident pas celles de la diminution des captures. Les points de changement de l'effort de pêche se chevauchent entre 2008 et 2009. Durant cette période, il y a eu une mise en place d'un plan de sortie de flotte pour les pêcheries sensibles (Arrêté du 26 décembre 2008). De plus, pour les chalutiers pélagiques, la diminution de l'effort de pêche en 2009 et la diminution des captures en 2008, est probablement la répercussion de la réglementation sanitaire sur la sardine. Mais, la diminution du maquereau en 2007 pourrait également être la cause de cette baisse de capture, puisque cette flottille cible également cette espèce (ICES, 2017a). Pour la diminution des captures des fileyeurs, le point de changement qui s'est produit plus tardivement en 2014 a été la conséquence de la diminution de la morue et du tacaud (2012), de la limande et de la sole (2013), du bar et du grondin rouge (2014) (figure 7). Les fileyeurs ciblent généralement ces espèces démersales (ICES, 2017a).

#### **4.1.2 Augmentation de quelques espèces de mollusques et de l'araignée de mer**

Deux espèces de mollusques ont des tendances de captures en augmentation avec des volumes élevés en Manche Orientale. La coquille Saint-Jacques a un point de changement positif en 2010 et le buccin en 2014 (figure 7). De plus, leurs volumes de capture moyenne sont considérables parmi les espèces exploitées dans la région. L'augmentation du buccin a été également remarquée par Foucher (2020) en Manche Orientale à partir de 2015. En réponse à la hausse de ces ressources, les pêcheurs diversifient leurs engins de pêche (figure 11). En effet, plusieurs pêcheurs ont développé des activités aux casiers et certains aux dragues. Le casier est l'engin principalement utilisé pour la pêche du buccin et la drague est l'engin spécifique pour pêcher la coquille Saint-Jacques (Mahé et al., 2006; Carpentier et al., 2009; ICES, 2017a). Le buccin a un point de changement positif en 2014 (figure 7), cela a alors causé l'augmentation de l'effort de pêche et des captures des caseyeurs sur la même année (figure 9). L'augmentation des captures des dragues en 2014 (figure 9a) semble être la conséquence du point de changement positif de la coquille Saint-Jacques en 2010 (figure 7). Toutefois, l'augmentation de l'effort de pêche de la drague a été située en 2005 (figure 9b).

Le calmar fait également partie des mollusques en augmentation, mais sur la partie nord-est de la Manche Orientale. Cette hausse a été exposée à la fois avec les points de changement (figure 8), mais également par la perception des pêcheurs (figure 15).

La spatialisation des points de changement par flottilles (figure 10) montre qu'il y a une corrélation entre l'effort de pêche et les captures (sauf pour la catégorie « autres »). De plus, les points de changement pour les dragues correspondent à ceux de la coquille Saint-Jacques. Il est de même pour le casier et le buccin (figure 8 et 10).

La spatialisation des points de changement a montré également que le voisinage de la baie de Seine présente une augmentation de capture pour la majorité des espèces et des flottilles (figure 8 et 10). Cette zone est très diversifiée, quatre communautés majeures ont été identifiées et sont détaillées par Vaz et al. (2007) et Carpentier et al. (2009) sur cette zone.

La perception des pêcheurs a montré l'apparition et l'augmentation de l'araignée de mer sur plusieurs rectangles statistiques du CIEM. Les avis sur l'apparition se font surtout au voisinage de Fécamp et de la baie de Seine (figure 13), alors que l'augmentation se voit plus près des côtes des Hauts-de-France (figure 15). Cependant, ces espèces ne sont pas très exploitées en Manche Orientale, selon les pêcheurs ces espèces réduisent l'efficacité de leurs engins dormants surtout les casiers. En effet, elles sont très abondantes dans ces zones, elles sont appâtées par les casiers au désagrément des espèces cibles. Mais vu leur augmentation ces dernières années, les pêcheurs commencent à réfléchir aux moyens d'améliorer leur valorisation.

#### **4.1.3 Les interactions entre espèces**

Le modèle OSMOSE a permis d'examiner les éventuelles connexions et les effets de la pêche sur la communauté de 14 espèces de la zone d'étude.

Les figures 23 sur les impacts trophiques mixtes montrent que la plupart des espèces ont des impacts négatifs sur elles-mêmes qui sont dus à la compétition intraspécifique (Grémillet et al., 2006; Cachera et al., 2017). Les compétitions interspécifiques les plus marquées sont celles de la sardine et du hareng qui s'alimentent sur les mêmes proies étant donné que ce sont des espèces pélagiques ayant des niveaux trophiques relativement équivalents. Le merlan et le maquereau montrent également les mêmes relations. En effet, ce sont ces espèces fourrages pélagiques qui expriment le plus d'interactions dans le modèle. Des interactions positives sont listées dans la figure 23, mais elles ne sont pas très marquées. Par ailleurs, la correspondance entre les résultats de l'impact trophique mixte du modèle OSMOSE et les perceptions de pêcheurs dépend du couple d'espèces. En effet, les pêcheurs ont relevé un impact négatif du calmar sur la morue qui n'a pas apparue dans les résultats du modèle (figure 16).

Cependant, les résultats du modèle et la perception des pêcheurs sont en accord concernant le lien observé entre la plie et la sole. D'après les pêcheurs la sole est impactée positivement par la plie (c'est-à-dire l'augmentation des captures de la plie est suivie éventuellement par une augmentation des captures de la sole) (figure 16). Ce constat est observé également dans les sorties du modèle dans la figure 18 qui montre qu'une augmentation de la pression de pêche sur la plie provoquerait une augmentation de la biomasse de la sole (ainsi des captures). En outre, le modèle et les perceptions des pêcheurs concordent sur le fait que cette relation n'est pas réciproque, en effet il semble que la sole n'a pas d'impact significatif sur la plie.

#### **4.2 Limites et perspectives de l'étude**

Dans cette étude, un seul point de changement a été prospecté par la méthode mcp. Alors que le package pourrait en chercher plus (Lindeløv, 2020). En effet, ce choix a été effectué pour simplifier l'analyse et les comparaisons avec d'autres approches. La distribution des données de captures ou d'effort n'a pas été étudiée afin de choisir la meilleure méthode pour détecter les points de changements pour chacune des séries. En effet, le package mcp a la capacité d'identifier des points de changement à l'aide de modèle d'auto régression, binomial, trigonométrique, arbitraire ou la combinaison de ces derniers (Lindeløv, 2020).

Pour l'approche changement de régime, les données considérées dans cette étude ne représentent que les captures et l'effort de pêche français. À titre d'exemple, les flottilles exerçant des activités de pêche en Manche sud Mer du Nord en 2012 ont été composées de 6 129 navires français, 6 414 navires britanniques, 86 navires belges, et 740 navires néerlandais (Robert & Le Gallic, 2014). De plus, la flottille de senneurs danois mentionnée par les pêcheurs enquêtés comme étant une grande menace pour la pêcherie, n'a pas été

recensée dans les données utilisées. Cette flottille a été toujours présente en Manche Orientale, mais son effort de pêche a augmenté qu'à partir de 2007 (Hamon, 2015).

Au départ, la définition des flottilles dans cette étude a été détaillée par zone et par taille de bateau en se basant des flottilles déjà définies par l'étude de Lehuta et al., 2015. Ces flottilles plus détaillées auraient pu regrouper alors des navires adoptant des stratégies de pêche plus similaires et représenter la polyvalence des pêcheurs (Berthou et al., 2003). Toutefois, elles ont été agrégées par catégorie d'engin de pêche pour simplifier les analyses et la collecte d'information au niveau des pêcheurs. Cette classification a permis d'homogénéiser toutes les flottilles permettant la comparaison entre les différentes approches.

L'enquête a été limitée juste à 17 pêcheurs. De ce fait, plusieurs avis n'ont pas été pertinents à analyser dans cette étude vu qu'ils ne sont pas représentatifs ou que c'est l'avis d'un seul pêcheur. Enquêter plus de professionnels de la pêche aurait été bénéfiques pour avoir une idée plus exhaustive de la perception des pêcheurs.

Le modèle OSMOSE utilisé dans cette étude a été basé sur l'état de l'écosystème en Manche Orientale avant 2010 (Travers-Trolet et al., 2019). Tandis que l'étude a pour but d'analyser la dynamique de l'écosystème entre 2000-2020. Des changements de la structure des communautés des espèces ou de l'habitat en Manche Est (ICES, 2020a) ont pu émerger à partir de 2010 à cause des impacts des différentes activités humaines (Dauvin, 2012) et aux changements environnementaux.

De plus, ce modèle OSMOSE de la Manche Orientale ne présente que 14 espèces de poisson. Certes, ces espèces représentent une grande partie des espèces les plus exploitées dans cette zone, mais simuler un écosystème ne peut se restreindre qu'à ces derniers. Il aurait été intéressant de voir par exemple l'effet de l'augmentation de la coquille Saint-Jacques et du buccin (vu les constatations de la figure 7) sur le réseau trophique de la Manche. L'impact de l'augmentation de l'araignée de mer sur d'autres espèces pourrait être analysé. Car l'invasion des araignées de mer a été mentionnée par les pêcheurs comme étant une menace pour la pêche (figures 17). De plus, le groupe des crustacés n'est pas représenté dans le modèle.

## 5 Conclusion

La présente étude s'est focalisée sur le diagnostic de l'état de l'écosystème en Manche Orientale.

Il a d'abord été observé par l'approche point de changement et la perception des pêcheurs que 80 % des espèces les plus exploitées sur la zone d'étude ont des captures en diminution. Cette baisse s'est réalisée entre 2007 et 2014. À travers ces années, il y a l'augmentation de la production de buccins et de coquille Saint-Jacques, mais également d'araignées de mer. Il a également été remarqué qu'il y a souvent un décalage entre les changements de régime des captures et de l'effort de pêche. Ces différents changements ont engendré l'adaptation des pêcheurs sur leur engin de pêche et sur leur zone de pêche.

L'étude a permis de tirer que les perceptions des pêcheurs sont relativement similaires avec la réalité des captures et que sur certains points leurs avis sont en accord avec les sorties de simulations du modèle OSMOSE. En effet, des interactions indirectes entre les poissons plats ont été mentionnées par les pêcheurs et prédites par le modèle.

À l'égard de ces résultats, il paraîtrait opportun d'intégrer la perception des pêcheurs dans une Approche Écosystémique des Pêches puisqu'il semble refléter la réalité. Par exemple, intégrer la senne danoise dans les flottilles d'un modèle écosystémique pourrait être une piste de recherche sur la diminution de différentes espèces. Étant donné que l'arrivée et l'augmentation de ces flottilles en Manche Orientale coïncident avec les changements de régime des captures (2007-2014).

Cette étude s'est focalisée sur les interactions interspécifiques et les interactions pêche/écosystèmes. Pourtant, il semble aussi propice d'analyser les avis des pêcheurs sur l'interaction du changement climatique sur les ressources et de pouvoir intégrer ces connaissances dans un modèle écosystémique.

Il serait préférable d'analyser également la perception ou les données d'autres pays pêchant en Manche Orientale et d'avoir plus d'échantillons pour bien adopter le diagnostic exhaustif de l'état de l'écosystème.

## Bibliographie

- Adams, R. P., & MacKay, D. J. C. (2007). Bayesian Online Change-point Detection. *Cornell University - Statistics - Machine learning*, 7. <https://arxiv.org/abs/0710.3742>
- Amara, R. (2011). Impact de la pollution sur les écosystèmes côtiers : Exemple de la Manche orientale. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, Hors-série 9*, mis en ligne le 13 juillet 2011, consulté le 28 août 2021. <https://doi.org/10.4000/vertigo.10990>
- Ballutaud, M. (2018). *Tentative de modélisation End-to-end en Mer du Nord pour évaluer l'interaction de la pêche et autres usages sous changement climatique*. [Mémoire de fin d'étude en Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage]. Agrocampus Ouest.
- Barange, M., Merino, G., Blanchard, J. L., Scholtens, J., Harle, J., Allison, E. H., Allen, J. I., Holt, J., & Jennings, S. (2014). Impacts of climate change on marine ecosystem production in societies dependent on fisheries. *Nature Climate Change*, 4(3), 211-216. <https://doi.org/10.1038/nclimate2119>
- Baux, N., Méar, Y., Poizot, E., Murat, A., Beryouni, K., & Dauvin, J.-C. (2017, octobre 10). *Improving the dumping Octeville site monitoring in a dynamic environment (Bay of Seine, English Channel)*. 33rd IAS Meeting of Sedimentology. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01692059>
- Bentley, J. W. (2020). Modelling the food web in the Irish Sea in the context of a depleted commercial fish community. *University of the Highlands and Islands for the Degree of Doctor of Philosophy*, 360.
- Berthou, P., Daurés, F., Guyader, O., Leblond, E., Demaneche, S., & Jezequel, M. (2003). Synthèse des flottilles de pêche 2003 Flotte mer du Nord-Manche-Atlantique. *Ifremer (No. Rapport interne DRV/SIH/N°4/082003)*, 56.
- Cachera, M., Ernande, B., Villanueva, M. C., & Lefebvre, S. (2017). Individual diet variation in a marine fish assemblage : Optimal Foraging Theory, Niche Variation Hypothesis and functional identity. *Journal of Sea Research*, 120, 60-71. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2016.08.004>
- Carpentier, A., Martin, C. S., & Vaz, S. (2009). *Atlas des Habitats des Ressources Marines de la Manche Orientale CHARM II* (INTERREG 3a Programme; p. 626). IFREMER.
- Champagnat, J. (2018). *Sensibilité des indicateurs écosystémiques à la pression de pêche : Modélisation trophique, analyse de réseau et application en Baie de Seine* [Mémoire de Fin d'Études d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage]. Agrocampus Ouest.
- Christensen, V., & Walters, C. J. (2004). Ecopath with Ecosim : Methods, capabilities and limitations. *Ecological Modelling*, 172(2), 109-139. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.09.003>
- Cury, P. M., Shannon, L. J., Roux, J.-P., Daskalov, G. M., Jarre, A., Moloney, C. L., & Pauly, D. (2005). Trophodynamic indicators for an ecosystem approach to fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 62(3), 430-442. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2004.12.006>
- Dauvin, J.-C. (2008). Effects of heavy metal contamination on the macrobenthic fauna in estuaries : The case of the Seine estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 57(1), 160-169. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.10.012>
- Dauvin, J.-C. (2011). La Manche orientale, espace maritime à forte pression anthropique : De la connaissance de son fonctionnement à sa gestion basée sur l'écosystème. in Du naturalisme à l'écologie, édité par F.G. Schmitt. In M. F. Schmitt (Éd.), *Observation des*

- écosystèmes marin et terrestre de la côte d'opale : Du naturalisme à l'écologie* (p. 199-224). Union des océanographes de France. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00758620>
- Dauvin, J.-C. (2012). Are the eastern and western basins of the English Channel two separate ecosystems? *Marine Pollution Bulletin*, 64(3), 463-471. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.12.010>
- Dauvin, J.-C., & Lozachmeur, O. (2006). Mer côtière à forte pression anthropique propice au développement d'une gestion intégrée : Exemple du bassin oriental de la Manche (Atlantique Nord-Est). *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 7 Numéro 3, Article Volume 7 Numéro 3. <https://doi.org/10.4000/vertigo.1914>
- Delpech, J.-P., Mahe, K., Mehault, S., Rostiaux, E., Biais, G., Coppin, F., & Vaz, S. (2007). *Evaluation des ressources halieutiques par les campagnes scientifiques françaises—Façade Manche est et façade Loire-Gironde* (p. 150). Ifremer - Ministère de l'industrie. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00000/6642/>
- Demanèche, S., Bégot, E., Gouëlle, A., Merrien, C., Leblond, E., & Berthou, P. (2015). *Département Sciences et Techniques Halieutiques*. 39.
- deYoung, B., Barange, M., Beaugrand, G., Harris, R., Perry, R. I., Scheffer, M., & Werner, F. (2008). Regime shifts in marine ecosystems : Detection, prediction and management. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(7), 402-409. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.03.008>
- Erdman, C., & Emerson, J. W. (2007). bcp : An R Package for Performing a Bayesian Analysis of Change Point Problems. *Journal of Statistical Software*, 23(1), 1-13. <https://doi.org/10.18637/jss.v023.i03>
- Foucher, E. (2020). *Avis de l'Ifremer sur les mesures de gestion pour le bulot, le tourteau, l'araignée et le homard dans les Hauts-de-France*. 9.
- Fu, C., Olsen, N., Taylor, N., Gruss, A., Batten, S., Liu, H., Verley, P., & Shin, Y.-J. (2017). Spatial and temporal dynamics of predator-prey species interactions off western Canada. *ICES Journal of Marine Science*, 74(8), 2107-2119. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx056>
- Fulton, E. A., Link, J. S., Kaplan, I. C., Savina-Rolland, M., Johnson, P., Ainsworth, C., Horne, P., Gorton, R., Gamble, R. J., Smith, A. D. M., & Smith, D. C. (2011). Lessons in modelling and management of marine ecosystems : The Atlantis experience. *Fish and Fisheries*, 12(2), 171-188. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2011.00412.x>
- Funtowicz, S., & Ravetz, J. (2003). Post-Normal Science. *International Society for Ecological Economics*, 10.
- Gascuel, D., & Pauly, D. (2009). EcoTroph : Modelling marine ecosystem functioning and impact of fishing. *Ecological Modelling*, 220(21), 2885-2898. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.07.031>
- Graham, N. A. J., Jennings, S., MacNeil, M. A., Mouillot, D., & Wilson, S. K. (2015). Predicting climate-driven regime shifts versus rebound potential in coral reefs. *Nature*, 518(7537), 94-97. <https://doi.org/10.1038/nature14140>
- Grémillet, D., Pichegru, L., Siorat, F., & Georges, J.-Y. (2006). Conservation implications of the apparent mismatch between population dynamics and foraging effort in French northern gannets from the English Channel. *Marine Ecology Progress Series*, 319, 15-25. <https://doi.org/10.3354/meps319015>
- Grüss, A., Schirripa, M. J., Chagaris, D., Drexler, M., Simons, J., Verley, P., Shin, Y.-J., Karnauskas, M., Oliveros-Ramos, R., & Ainsworth, C. H. (2015). Evaluation of the trophic

- structure of the West Florida Shelf in the 2000s using the ecosystem model OSMOSE. *Journal of Marine Systems*, 144, 30-47. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2014.11.004>
- Halouani, G., Ben Rais Lasram, -->Frida, Shin, Y.-J., Velez, L., Verley, P., Hattab, T., Oliveros-Ramos, R., Diaz, F., Ménard, F., Baklouti, M., Guyennon, A., Romdhane, M. S., & -->Le Loc'h, F. (2016). Modelling food web structure using an end-to-end approach in the coastal ecosystem of the Gulf of Gabes (Tunisia). *Ecological Modelling*, 339, 45-57. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.08.008>
- Halouani, G., Le Loc'h, F., Shin, Y.-J., Velez, L., Hattab, T., Romdhane, M. S., & Ben Rais Lasram, F. (2019). An end-to-end model to evaluate the sensitivity of ecosystem indicators to track fishing impacts. *Ecological Indicators*, 98, 121-130. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.061>
- Hamon, J.-M. (2015). Les conditions d'encadrement del'usage de la senne de fond dans leseaux du Golfe de Gascogne(Zone VIII CIEM). *Rapport d'Inspection Générale des Affaires Maritimes*, 80.
- ICES. (2011a). Catches in FAO Area 27 by Country, Species, Area, Year. Source : Eurostat / ICES Database on Catch Statistics - ICES 2011, Copenhagen. Format : Archived Dataset in. xls and. csv Format. Version 30-11-2011.
- ICES. (2011b). *Report of the Working Group on the Assessment of Demersal Stocks in the North Sea and Skagerrak (WGNSSK) (No. ICES CM 2011/ACOM:13)*.
- ICES. (2012). Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE) (21-27 August 2012 No. ICES CM 2012/ACOM:1 5). Lowestoft, United Kingdom.
- ICES. (2015). Red gurnard (Chelidonichthys cuculus) in Subareas III, IV, V, VI, VII, and VIII (Northeast Atlantic). *ICES Advice on fishing opportunities, catch, and effort - Celtic Seas, Greater North Sea, and the Bay of Biscay and the Iberian Coast Ecoregions*, 4.
- ICES. (2017a). *Greater North Sea Ecoregion—Fisheries overview*. 29. <https://doi.org/10.17895/ICES.PUB.3116>
- ICES. (2017b). Lesser-spotted dogfish (Scyliorhinus canicula) in Subarea 4 and in divisions 3.a and 7.d (North Sea, Skagerrak and Kattegat, eastern English Channel). *ICES Advice on fishing opportunities, catch, and effort - Greater North Sea Ecoregion*, 5.
- ICES. (2019a). Dab (Limanda limanda) in Subarea 4 and Division 3.a (North Sea, Skagerrak and Kattegat). *ICES Advice on Fishing Opportunities, Catch, and Effort - Greater North Sea Ecoregion*, 10. <https://doi.org/10.17895/ICES.ADVICE.5641>
- ICES. (2019b). Striped red mullet (Mullus surmuletus) in Subarea 4 and divisions 7.d and 3.a (North Sea, eastern English Channel, Skagerrak and Kattegat). *ICES Advice on Fishing Opportunities, Catch, and Effort - Greater North Sea Ecoregion*, 5. <https://doi.org/10.17895/ICES.ADVICE.4863>
- ICES. (2020a). Greater North Sea Ecoregion—Ecosystem overview. *In Report of the ICES Advisory Committee, 2020. ICES Advice 2020, Section 9.1*, 21. <https://doi.org/10.17895/ICES.ADVICE.7632>
- ICES. (2020b). Working Group on the Assessment of Demersal Stocks in the North Sea and Skagerrak (WGNSSK). *ICES Scientific Reports*, 2(61), 1249. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.6092>
- ICES. (2021). Sea bass (Dicentrarchus labrax) in divisions 4.b-c, 7.a, and 7.d-h (central and southern North Sea, Irish Sea, English Channel, Bristol Channel, and Celtic Sea). *ICES Advice on Fishing Opportunities, Catch, and Effort - Celtic Seas and Greater North Sea Ecoregions*, 9. <https://doi.org/10.17895/ICES.ADVICE.7733>

- Killick, R., Beaulieu, C., Taylor, S., & Hullaït, H. (2016). *EnvCpt: Detection of Structural Changes in Climate and Environment Time Series, R package version 0.1. 1*.
- Killick, R., & Eckley, I. A. (2014). changepoint: An R Package for Change-point Analysis. *Journal of Statistical Software*, 58(1), 1-19. <https://doi.org/10.18637/jss.v058.i03>
- Le Goff, C., Lavaud, R., Cugier, P., Jean, F., Flye-Sainte-Marie, J., Foucher, E., Desroy, N., Fifas, S., & Foveau, A. (2017). A coupled biophysical model for the distribution of the great scallop *Pecten maximus* in the English Channel. *Journal of Marine Systems*, 167, 55-67. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.10.013>
- Lehuta, S., Vermard, Y., & Marchal, P. (2015). A Spatial Model of the Mixed Demersal Fisheries in the Eastern Channel. In H.-J. Ceccaldi, Y. Hénocque, Y. Koike, T. Komatsu, G. Stora, & M.-H. Tusseau-Vuillemin (Éds.), *Marine Productivity: Perturbations and Resilience of Socio-ecosystems* (p. 187-195). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-13878-7\\_20](https://doi.org/10.1007/978-3-319-13878-7_20)
- Lemoine, M., & Giret, M. (1991). *Les pêches artisanales de la Manche orientale : Flottes et ressources halieutiques*. IFREMER.
- Lindeløv, J. K. (2020). *mcp: An R Package for Regression With Multiple Change Points* [Preprint]. Open Science Framework. <https://doi.org/10.31219/osf.io/fzqxv>
- Link, J. S. (2005). Translating ecosystem indicators into decision criteria. *ICES Journal of Marine Science*, 62(3), 569-576. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2004.12.015>
- Mackinson, S., & Daskalov, G. (2007). An ecosystem model of the North Sea to support an ecosystem approach to fisheries management : Description and parameterisation. *Cefas Sci. Ser. Tech. Rep. 142*, 196.
- Mahé, K., Delpech, J.-P., Coppin, F., & Capentier, A. (2006). Les débarquements internationaux en Manche orientale de 2000 a2004. *Direction des ressources vivante. Département Ressources Halieutiques*.
- Muggeo, V. M. (2008). Segmented : An R package to fit regression models with broken-line relationships. *R news*, 8(1), 20-25.
- OSMOSE (*Simulateur orienté objet d'écosystèmes marins*)—*Documentation OSMOSE 3*. (s. d.). Consulté 5 juillet 2021, à l'adresse <https://documentation.osmose-model.org/index.html>
- Paine, R. T. (1969). A Note on Trophic Complexity and Community Stability. *The American Naturalist*, 103(929), 91-93. <https://doi.org/10.1086/282586>
- Pauly, D., Christensen, V., Dalsgaard, J., Froese, R., & Torres Jr., F. (1998). Fishing Down Marine Food Webs. *Science*, 279(5352), 860-863. <https://doi.org/10.1126/science.279.5352.860>
- Pauly, D., Christensen, V., & Walters, C. (2000). Ecopath, Ecosim, and Ecospace as tools for evaluating ecosystem impact of fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 57(3), 697-706. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0726>
- Perälä, T., & Kuparinen, A. (2015). Detecting regime shifts in fish stock dynamics. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 72(72), 1619-1628.
- Perälä, T., Olsen, E. M., & Hutchings, J. A. (2020). Disentangling conditional effects of multiple regime shifts on Atlantic cod productivity. *PLOS ONE*, 15(11), e0237414. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237414>
- Pikitch, E. K., Santora, C., Babcock, E. A., Bakun, A., Bonfil, R., Conover, D. O., Dayton, P., Doukakis, P., Fluharty, D., Heneman, B., Houde, E. D., Link, J., Livingston, P. A., Mangel, M., McAllister, M. K., Pope, J., & Sainsbury, K. J. (2004). Ecosystem-Based Fishery Management. *Science*, 305(5682), 346-347. <https://doi.org/10.1126/science.1098222>

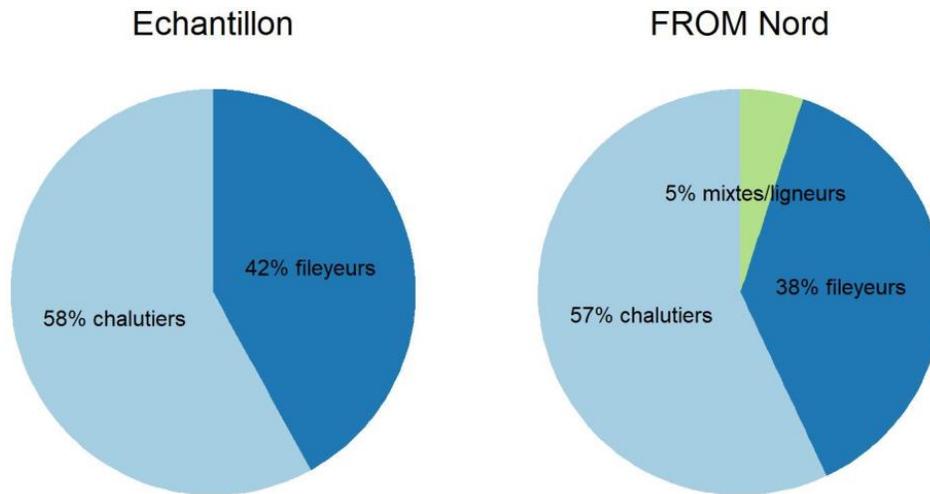
- Ramires, M., Clauzet, M., Barrella, W., Rotundo, M. M., Silvano, R. A., & Begossi, A. (2015). Fishers' knowledge about fish trophic interactions in the southeastern Brazilian coast. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 11(1), 19. <https://doi.org/10.1186/s13002-015-0012-8>
- Robert, M., & Le Gallic, B. (2014). Projet Interreg IVA – GIFS. Rapport. Action 3 – Economie et revitalisation des communautés de pêche côtières 3.1.1 – Impacts économiques directs de la pêche. *Publications électroniques Amure, Série Rapports R-36-2014*, 52.
- Ross, G. J. (2015). Parametric and nonparametric sequential change detection in R : The cpm package. *Journal of Statistical Software*, 66(3), 1-20.
- Scheffer, M., Baveco, J. M., DeAngelis, D. L., Rose, K. A., & Van Nes, E. H. (1995). Super-individuals a simple solution for modelling large populations on an individual basis. *Ecological Modelling*, 80(2-3), 161-170. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(94\)00055-M](https://doi.org/10.1016/0304-3800(94)00055-M)
- Shin, Y.-J., & Cury, P. (2001). Exploring fish community dynamics through size-dependent trophic interactions using a spatialized individual-based model. *Aquat. Living Resour.*, 17.
- Shin, Y.-J., & Cury, P. (2004). *Using an individual-based model of fish assemblages to study the response of size spectra to changes in fishing*. 19.
- SIH. (2019a). *Activité des navires de pêche 2019—Région—Hauts-de-France* (p. 13). IFREMER - Système d'Informations Halieutiques (SIH) - Réseau d'observation des ressources halieutiques et des usages.
- SIH. (2019b). *Activité des navires de pêche 2019—Région—Normandie* (p. 13). IFREMER - Système d'Informations Halieutiques (SIH) - Réseau d'observation des ressources halieutiques et des usages.
- Silvano, R. A. M., & Begossi, A. (2012). Fishermen's local ecological knowledge on Southeastern Brazilian coastal fishes: Contributions to research, conservation, and management. *Neotropical Ichthyology*, 10, 133-147. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252012000100013>
- Travers, M., Shin, Y.-J., Jennings, S., Machu, E., Huggett, J. A., Field, J. G., & Cury, P. M. (2009). Two-way coupling versus one-way forcing of plankton and fish models to predict ecosystem changes in the Benguela. *Ecological Modelling*, 220(21), 3089-3099. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.08.016>
- Travers-Trolet, M., Coppin, F., Cresson, P., Cugier, P., Oliveros-Ramos, R., & Verley, P. (2019). Emergence of negative trophic level-size relationships from a size-based, individual-based multispecies fish model. *Ecological Modelling*, 410, 108800. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108800>
- Ulanowicz, R., & Puccia, C. (1990). Mixed trophic impacts ecosystems. *Coenoses*, 5.
- Valls, A., Coll, M., & Christensen, V. (2015). Keystone species : Toward an operational concept for marine biodiversity conservation. *Ecological Monographs*, 85(1), 29-47. <https://doi.org/10.1890/14-0306.1>
- Vanhoutte-Brunier, A., Fernand, L., Ménesguen, A., Lyons, S., Gohin, F., & Cugier, P. (2008). Modelling the *Karenia mikimotoi* bloom that occurred in the western English Channel during summer 2003. *Ecological Modelling*, 210(4), 351-376. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.08.025>
- Vaz, S., Carpentier, A., & Coppin, F. (2007). Eastern English Channel fish assemblages : Measuring the structuring effect of habitats on distinct sub-communities. *ICES Journal of Marine Science*, 64, 271-287.

- WGNSSK. (2021). Stock Annex:Sole (*Solea solea*) in Division 7.d (eastern English Channel). *ICES Stock Annex - Working Group on the Assessment of Demersal Stocks in the North Sea and Skagerrak (WGNSSK)*, 38.
- Worm, B., Barbier, E. B., Beaumont, N., Duffy, J. E., Folke, C., Halpern, B. S., Jackson, J. B. C., Lotze, H. K., Micheli, F., Palumbi, S. R., Sala, E., Selkoe, K. A., Stachowicz, J. J., & Watson, R. (2006). Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services. *Science*, 314(5800), 787-790. <https://doi.org/10.1126/science.1132294>

annexe 1 : Modèle plateau à un seul l'intercept et avec modification de variance

```
model = list(
y ~ 1, # Plateau
y ~ 1 + sigma(1) ) # Plateau in mean and variance
```

annexe 2 : Représentation de l'échantillon de l'enquête par rapport aux adhérents totales du FROM Nord.



annexe 3 : Le questionnaire. CA : chiffre d'affaire.

**ID pêcheurs :**

<b>Générale</b>	1/ Depuis combien d'années exercez-vous une activité de pêche ?
	2/ Quelle est la taille de votre bateau ?
<b>Métiers</b>	3/ Pratiquez-vous plusieurs métiers ? (polyvalence)
	4/ Quels métiers exercez-vous ? <span style="float: right;">Longueur filet :      Date :</span>
	5/ Avez-vous changé de métier depuis que vous exercez cette activité ?
	6/ Quels types de changements avez-vous réalisé ? (niveau métier ou engin)
	Avant : <span style="margin-left: 100px;">Type :</span> <span style="margin-left: 100px;">Pourquoi :</span>
	Date : <span style="margin-left: 100px;">Détail :</span> <span style="margin-left: 100px;">Condition pour rester à terre</span>



Annexe 4 : Paramètres d'entrée des 14 espèces appliqués aux modèles OSMOSE en Manche Orientale (Travers-Trolet et al., 2019). Tous ces paramètres émanent de la littérature sauf  $M_{oth}$ ,  $F$  et  $M_L$  qui ont été calibrés.  $L_\infty$ ,  $K$  et  $t_0$  sont les paramètres de croissance de von Bertalanffy cependant ils ne sont appliqués qu'à partir de l'âge  $a_{th}$ .  $c$  est une constante fonction des unités et  $b$  le coefficient d'allométrie correspondant aux conversions de la relation taille-poids.  $L_{mat}$  représente la taille à la maturité,  $\varphi$  la fécondité relative et  $a_{max}$  la longévité de l'espèce.  $F$  correspond à la mortalité par pêche,  $a_{rec}$  l'âge de recrutement,  $M_{oth}$  est un taux de mortalité additionnel reflétant de la prédation d'autre espèce de l'écosystème (non modélisé),  $M_{\xi max}$  le taux maximum de mortalité par famine et  $M_L$  la mortalité larvaire.  $R_{min}$  et  $R_{max}$  représentent les ratios taille prédateur/proie,  $C_{SR}$  le taux de réussite critique de prédation et le taux max ingestion correspond au taux maximal d'ingestion d'un prédateur par année et par son poids. \* En dessous et en dessus de 12 cm respectivement.

Espèces	CROISSANCE ET CONDITION						REPRODUCTION		SURVIE						PRÉDATION			
	$L_\infty$ cm	$K$ $y^{-1}$	$t_0$ y	$a_{th}$ y	$c$ $g.cm^{-3}$	$b$	$L_{mat}$ cm	$\varphi$ œuf. $g^{-1}$	$a_{max}$ y	$F$ $y^{-1}$	$a_{rec}$ y	$M_{oth}$ $y^{-1}$	$M_{\xi max}$ $y^{-1}$	$M_L$ mois $^{-1}$	$R_{min}$	$R_{max}$	$C_{SR}$	taux max ingestion $g.g^{-1}$
Petite roussette	87,4	0,12	-1,09	0,5	0	3,03	57	0,14	10	0,09	4	0,087	0,3	4,29	50	3	0,57	3,5
Rouget	53,3	0,18	-1,23	1	0,01	3,18	16,7	500	11	0,194	0,4	0	0,3	13,01	125	10	0,57	3,5
Tacaud	37,6	0,46	-0,77	0,5	0,01	3,2	23	620	4	0,106	1	0,12	0,3	6,69	50	3,5	0,57	3,5
Merlan	40,2	0,63	-0,37	1	0,01	3,1	20	797	20	0,122	1	0,405	0,3	17,03	30	1,5	0,57	3,5
Capelan	22,2	0,46	-0,679	0,5	0,01	3,03	13	100	3	0	1	0,085	0,3	4,73	50	3,5	0,57	3,5
Morue	104	0,19	-0,1	0,5	0,01	3,05	56	800	25	0,219	1	0	0,3	21,95	50 / 20*	2,3/ 1,8*	0,57	3,5
Dragonnet	28,3	0,47	-0,443	0,5	0,03	2,44	17,4	255	6	0	1	0,148	0,3	2,58	125	10	0,57	3,5
Sole	37,3	0,35	-1,61	0,5	0	3,26	29	482	20	0,187	1,5	0	0,3	7,4	125	10	0,57	3,5
Plie	71,7	0,23	-0,83	0,5	0,01	3,02	27	255	15	0,44	1	0	0,3	13,52	125	5	0,57	3,5
Chinchard	39,2	0,18	-1,515	1	0,01	3,11	22	1655	15	0,052	0,5	0	0,3	3,52	100	2,5	0,57	3,5
Maquereau	42	0,24	-2,07	1	0	3,24	29	1070	17	0,142	0,5	0	0,3	7,94	100	2,5	0,57	3,5
Hareng	29,2	0,37	-0,67	0,5	0,01	3,1	25	458	11	0,156	1,5	0,008	0,3	1,24	1000	5	0,57	2
Sardine	24,6	0,79	-0,22	0,5	0,01	3,08	15	2228	15	0,03	0,5	0,216	0,3	14,07	1000	5	0,57	3,5
Calmars	50	2	0,5	0,7	0,25	2,27	30	50	2	0,036	0,5	0,298	0,3	7,97	20	1,5	0,57	3,5

Annexe 5 : Saisonnalité de la reproduction, exprimée en proportion.

Pas de temps	Espèces													
	Petite roussette	Rouget	Tacaud	Merlan	Capelan	Morue	Dragonnet	Sole	Plie	Chinchard	Maquereau	Hareng	Sardine	Calmars
0	0	0	0	0,062	0	0,05	0	0	0,187	0	0	0,187	0	0,187
0,041	0	0	0	0,062	0	0,05	0	0	0,187	0	0	0,187	0	0,187
0,083	0	0	0,1	0,093	0,062	0,15	0,071	0	0,187	0	0	0,062	0	0,031 5
0,125	0	0	0,1	0,093	0,062	0,15	0,071	0,05	0,187	0	0	0,062	0	0,031
0,166	0	0	0,1	0,093	0,187	0,15	0,071	0,05	0,062	0,083	0	0	0	0,031
0,208	0	0	0,1	0,093	0,187	0,15	0,071	0,05	0,062	0,083	0	0	0	0,031
0,25	0	0	0,1	0,093	0,187	0,15	0,071	0,187	0	0,083	0	0	0	0,031
0,291	0	0	0,1	0,093	0,187	0,05	0,071	0,187	0	0,083	0	0	0	0,031
0,333	0,041	0,166	0,1	0,093	0,062	0,05	0,071	0,187	0	0,083	0,062	0	0,125	0
0,375	0,041	0,166	0,1	0,093	0,062	0	0,071	0,187	0	0,083	0,062	0	0,125	0
0,416	0,187	0,166	0,1	0,062	0	0	0,071	0,05	0	0,083	0,187	0	0,125	0
0,458	0,187	0,166	0,1	0,062	0	0	0,071	0,05	0	0,083	0,187	0	0,125	0
0,5	0,187	0,166	0	0	0	0	0,071	0	0	0,083	0,187	0	0	0
0,541	0,187	0,166	0	0	0	0	0,071	0	0	0,083	0,187	0	0	0
0,583	0,041	0	0	0	0	0	0,071	0	0	0,083	0,062	0	0	0
0,625	0,041	0	0	0	0	0	0,071	0	0	0,083	0,062	0	0	0
0,667	0,041	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,708	0,041	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,125	0
0,791	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,125	0
0,833	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,062	0,125	0,031
0,875	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,062	0,125	0,031
0,916	0	0	0	0	0	0	0	0	0,062	0	0	0,187	0	0,187
0,958	0	0	0	0	0	0,05	0	0	0,062	0	0	0,187	0	0,187

Annexe 6 : Paramètres des groupes de bas niveau trophique avec OSMOSE (Travers-Trolet et al., 2019). Le niveau trophique a été dérivé de l'étude de Kopp et al. (2015).

	Groupe de bas niveau trophique	Intervalle de taille (cm)	Niveau trophique	Coefficient d'accessibilité
Proie pélagique	Dinoflagellés	0.0002–0,002	1*	10–3,98
	Diatomées	0.002–0,02	1*	10–2,79
	Micro-zooplancton	0.002–0,02	2*	10–0,97
	Meso-zooplancton	0.02–0,2	2.6 (copepodes)	10–0,37
	Macro-zooplancton	0.2–2	3.8 ( <i>Crangon crangon</i> )	10–1,56
Proie benthique	Very small benthos	0.02–0.5	3*	10 – 1.20
	Petit benthos	0.5–1	2.9 ( <i>Nereis sp.</i> )	10–1,30
	Benthos moyen	1–5	2.2 (bivalves)	10–1,87
	Grand benthos	5–10	2.3 ( <i>Psammechinus miliaris</i> )	10–2,96
	Très grand benthos	10–15	3.6 ( <i>Maja brachydactyla</i> )	10–0,38

 <small>agriculture • alimentation • environnement</small> 	Diplôme : Ingénieur agronome Spécialité : Sciences halieutiques et aquacoles Spécialisation/option : Ressources et écosystèmes aquatiques Enseignant référent : Olivier Le Pape
Auteur(s) : Nicolas Andrialovanirina Date de naissance* : 23/10/1993	Organisme d'accueil : FROM Nord Adresse : 16 Rue du Commandant Charcot — CS 10 381 - 62 206 Boulogne-sur-Mer
Nb pages : 33                      Annexe(s) : 6	Maître de stage : Ghassen Halouani (Ifremer) et Delphine Roccin (FROM Nord)
Année de soutenance : 15/09/2021	
Titre français : Diagnostic de l'état de la pêcherie de Manche Orientale en intégrant la perception des pêcheurs	
Titre anglais : Diagnosis of the state of the Eastern English Channel fishery by integrating the fishers perception	
Résumé : La Manche Orientale est considérée comme une zone à forte pression anthropique et abrite une importante pêcherie multi spécifique et multi engins. Malgré la mise en place de plusieurs plans de gestion à l'initiative de la PCP, les captures sont en diminution notamment les poissons plats à l'exemple de la sole. Afin de remédier à cela, les recommandations des scientifiques visent à une gestion multi spécifique dans le cadre d'une approche écosystémique. Dans ce contexte, l'étude de la perception des pêcheurs pourrait améliorer la compréhension de la dynamique des ressources exploitées. La présente étude a comme objectif de réaliser un diagnostic de l'état de la pêcherie en Manche Orientale en prenant en compte la perception des pêcheurs avec d'autres méthodes quantitatives. L'étude a été structurée autour de trois grands axes, l'analyse des données de production à travers l'étude des changements de régime ; l'enquête sur la perception des pêcheurs et la modélisation écosystémique avec le modèle OSMOSE. L'analyse des captures a montré que 80% des espèces les plus exploitées ont connu un changement de régime avec une baisse des captures essentiellement sur la période 2007–2014 et qu'il y a souvent un décalage entre les changements de régime des captures et de l'effort de pêche. L'enquête avec les pêcheurs a permis de mieux comprendre leurs stratégies d'adaptation à l'évolution ressources et a montré que leurs perceptions sont souvent cohérentes avec l'étude des changements de régime (dans l'espace et dans le temps), mais aussi avec les simulations OSMOSE. En effet, des interactions indirectes entre les poissons plats ont été mentionnées par les pêcheurs et prédites par le modèle. Les simulations de différents scénarios de pêche avec OSMOSE ont permis également de mieux comprendre les impacts potentiels des activités de pêche sur les poissons plats.	
Abstract: The Eastern English Channel is subject to high anthropogenic pressure and concentrates a large multi-specific and multi-gear fishery. Despite the CFP initiating the implementation of several management plans, the catches are decreasing, especially flatfish such as sole. To reverse this current trend, the scientific advice aims at a multi-specific management plan within an ecosystem approach. In this context, studying fishermen's perceptions could improve understanding the dynamics of exploited resources. This research aimed to assess the status of fisheries in the Eastern English Channel, considering fishermen's perceptions and other quantitative methods. The present study was structured around three main axes: 1) Production-data analysis through the study of regime shifts; 2) Fishermen's perceptions survey; 3) OSMOSE ecosystem modelling. The analysis of catches showed that 80% of the most exploited species had experienced a regime shift with a decrease in catches essentially over the 2007-2014 period and that there was often a time lag between the catch regime shift and the fishing effort regime shift. Surveying fishermen improved the understanding of their adaptation strategies to changing resources and showed that their perceptions are often consistent with the study of regime shifts (in space and time) but also with the OSMOSE simulations. Indeed, indirect interactions between flatfish were both mentioned by fishermen and predicted by the model. Simulations of different fishing scenarios with OSMOSE also allowed a better understanding of potential impacts from fishing activities on flatfish.	
Mots-clés : Manche Orientale, perception de pêcheur, changement de régime, modélisation écosystémique, OSMOSE, pêcherie	
Key Words: Eastern English Channel, fisher perception, regime shift, ecosystem modelling, OSMOSE, fishery	

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