



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2024/067

Région de Terre-Neuve-et-Labrador

Détermination d'un point de référence limite pour la crevette ésope (*Pandalus montagui*) de la zone de pêche à la crevette 4

K.D. Baker, S.C. Anderson, W. Coffey, D.R.J. Mullowney, W. Walkusz et K.R. Skanes

Centre des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest
Pêches et Océans Canada
80, chemin East White Hills, C.P. 5667
St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador) A1C 5X1

Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien des avis scientifiques
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

[http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca](http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca)



© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2024

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-73567-2 N° cat. Fs70-5/2024-067F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Baker, K.D., Anderson, S.C., Coffey, W., Walkusz, W., Mullett, D.R.J. et Skanes, K.R. 2024. Détermination d'un point de référence limite pour la crevette ésope (*Pandalus montagui*) de la zone de pêche à la crevette 4. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2024/067. iv + 29 p.

Also available in English :

Baker, K.D., Anderson, S.C., Coffey, W., Walkusz, W., Mullett, D.R.J., and Skanes, K.R. 2024. Identifying a Limit Reference Point for Striped Shrimp (*Pandalus montagui*) in Shrimp Fishing Area 4. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2024/067. iv + 27 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	iv
1. INTRODUCTION	1
1.1. ÉCOLOGIE GÉNÉRALE	1
1.2. PÊCHE.....	2
1.3. ÉVALUATION DE LA RESSOURCE	3
1.4. CADRE CONFORME À L'APPROCHE DE PRÉCAUTION	3
1.5. OBJECTIFS.....	5
2. MÉTHODES.....	5
2.1. SOURCES DE DONNÉES.....	5
2.1.1. Relevé de la Northern Shrimp Research Foundation	5
2.2. POINT DE RÉFÉRENCE LIMITE.....	6
2.2.1. Indice de la biomasse exploitable (BE_{pop})	6
2.2.2. Détermination du point de référence.....	8
2.3. SIGNAUX D'ALARME LIÉS À LA SANTÉ DU STOCK.....	9
2.3.1. Santé reproductive	9
2.3.2. Perspectives écosystémiques.....	10
2.3.3. Santé de la population dans la ZPC 4.....	11
3. RÉSULTATS.....	12
3.1. POINT DE RÉFÉRENCE LIMITE – SANTÉ DE LA POPULATION	12
3.2. SIGNAUX D'ALARME LIÉS À LA SANTÉ DU STOCK.....	12
3.2.1. Santé reproductive	12
3.2.2. Perspectives écosystémiques.....	12
3.2.3. Santé de la population dans la ZPC 4.....	12
4. DISCUSSION.....	12
4.1. APPROCHES FONDÉES SUR DES MODÈLES ET DES INDICATEURS MULTIPLES.....	12
4.2. RÉSULTATS LIÉS À L'ÉTAT DU STOCK	13
4.3. REGARD VERS L'AVENIR	13
5. RÉFÉRENCES CITÉES	15
6. FIGURES	18
7. ANNEXE – FIGURES SUPPLEMENTAIRES	23

RÉSUMÉ

Au large du Canada atlantique, la crevette ésope (*Pandalus montagui*) est pêchée dans la zone d'évaluation est (ZEE), la zone d'évaluation ouest (ZEO) et la zone de pêche à la crevette (ZPC) 4. Bien que l'on suppose que les individus de ces trois stocks se mélangent et se déplacent fortement d'une zone à l'autre, chaque stock est évalué indépendamment. Pour contrer cette disparité d'échelle spatiale, et conformément au cadre de l'approche de précaution de Pêches et Océans Canada (MPO), un point de référence limite (PRL) pour la crevette ésope, basé sur les séries chronologiques combinées des données de relevé (2005 à 2022) de la ZPC 4, de la ZEE et de la ZEO, a été élaboré à partir d'un modèle spatio-temporel qui a permis d'établir un nouvel indice de la biomasse exploitable pour l'ensemble de la population (BE_{pop}) afin de déterminer l'état du stock de la ZPC 4. Le PRL est basé sur BE_{pop} et calculé comme la moyenne des résultats obtenus avec trois méthodes :

1. la biomasse exploitable la plus faible à partir de laquelle le stock a augmenté et est demeuré au-dessus de la moyenne géométrique pendant une période d'au moins trois ans;
2. 40 % de la moyenne géométrique de l'indice de la biomasse exploitable tout au long de la série chronologique;
3. la biomasse exploitable la plus faible observée dans la série chronologique.

Un PRL fondé sur une méthodologie, plutôt que sur une estimation de la biomasse, et une période de référence cohérente (2005 à 2022) permettront des ajustements à mesure que les modèles seront perfectionnés et que des données supplémentaires seront collectées. Avec la reconnaissance de BE_{pop} comme indice, l'état de la crevette ésope dans la ZPC 4 sera fourni en fonction de sa position relative par rapport au PRL. En plus du PRL, trois autres indicateurs de l'état du stock ont été définis comme des paramètres importants pour le suivi et la production de rapports afin de mettre en évidence toute tendance préoccupante (« signal d'alarme ») : l'indice des prédateurs potentiels (perspectives écologiques), l'indice de la ponte totale (santé reproductive) et l'indice de la biomasse exploitable propre à la ZPC 4 (santé de la population locale). En 2022, BE_{pop} a été estimé à cinq fois le PRL avec une grande certitude. Les autres indices de la santé du stock (indice des prédateurs potentiels, indice de la ponte totale et indice de la biomasse exploitable propre à la ZPC 4) ne suscitaient aucune préoccupation.

1. INTRODUCTION

1.1. ÉCOLOGIE GÉNÉRALE

La crevette ésope (*Pandalus montagui*) est présente dans l'Atlantique Nord-Ouest depuis le détroit de Davis jusqu'au Rhode Island (Squires 1996). On suppose que l'espèce forme une seule population génétique dans toute la partie septentrionale de son aire de répartition, y compris dans notre zone d'étude (c.-à-d. le détroit de Davis, la baie d'Ungava et le nord de la mer du Labrador), où l'on pense que la population est la plus abondante (figure 1). Les courants forts et dynamiques entraînent probablement un degré élevé de transfert et de mélange des crevettes et de leurs larves dans cette région (Le Corre *et al.* 2020). Le détroit d'Hudson, en particulier, est considéré comme un système très dynamique où les courants et le mélange des stocks sont forts (Le Corre *et al.* 2020).

Par rapport à la crevette nordique (*Pandalus borealis*), plus communément reconnue, la crevette ésope a tendance à préférer les eaux plus fraîches (-0,3 à 2,7 °C) et moins profondes (200 à 300 m) [Baker *et al.* 2021]. La crevette ésope effectue des migrations verticales nyctémérales à la poursuite de ses proies (Hudon *et al.* 1992). Pendant la journée, les crevettes se reposent et se nourrissent au fond de l'océan ou à proximité de celui-ci, tandis que la nuit, une proportion importante de la population (en particulier les mâles) migre verticalement dans la colonne d'eau en se nourrissant de zooplancton (Hudon *et al.* 1992). Les prises de mâles pendant le jour sont environ 1,5 fois supérieures à celles réalisées pendant la nuit (Baker *et al.* 2021).

En général, les crevettes de la famille des pandalidés sont reconnues comme étant des proies importantes pour une variété de poissons. La crevette ésope a été documentée dans l'estomac de flétans du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*; Tremblay-Gagnon 2022), de sébastes (*Sebastes* spp.), de grenadiers berglax (*Macrourus berglax*), de plies canadiennes (*Hippoglossoides platessoides*) et de raies (*Rajidae*) capturés au cours de relevés estivaux (Polaczek *et al.* 2023). Les prédateurs, tels que la morue franche (*Gadus morhua*) et les calmars, sont des moteurs importants de la biomasse et de la dynamique des populations dans d'autres stocks de crevettes de la famille des pandalidés (p. ex., Pedersen *et al.* 2022; Richards et Hunter 2021).

La crevette ésope est une hermaphrodite protérandrique; elle naît et atteint la maturité en tant que mâle, s'accouple en tant que mâle pendant une ou plusieurs années, puis devient généralement une femelle mature. La longueur de carapace (LC) à laquelle la transition se produit dans la zone d'étude est fonction de la compétition de reproduction (LC moyenne des femelles au cours de l'année précédente) et de conditions environnementales à grande échelle (étendue géographique de l'habitat thermique privilégié au cours de l'année précédente) [Baker *et al.* 2021]. Dans l'ensemble de la zone d'étude, les crevettes ésopes effectuent la transition à une taille plus grande et atteignent généralement une taille plus importante que celles qui se trouvent dans la partie méridionale de l'aire de répartition (Baker *et al.* 2021). La LC moyenne des crevettes lors de la transition était supérieure à 20 mm dans la zone d'étude ces dernières années (Baker *et al.* 2021). La crevette ésope est recrutée dans la pêche aux âges 3 ou 4 et plus.

Le degré de déplacement de la crevette ésope aux stades adulte et larvaire dans l'ensemble de la région n'a pas été quantifié et on suppose qu'il varie au fil du temps. Des études sur les larves dans les eaux de l'ouest du Groenland ont conclu que la crevette ésope a probablement une éclosion plus hâtive et un développement plus lent que la crevette nordique selon la taille des différentes larves échantillonnées (Pedersen *et al.* 2002). Compte tenu de ces

renseignements, la modélisation récente de la dérive larvaire de la crevette nordique (Le Corre *et al.* 2019; Le Corre *et al.* 2020) est peu susceptible de s'appliquer à la crevette ésope sur la même échelle.

Plusieurs conditions épidémiologiques influençant la santé globale ou la santé reproductive ont été documentées chez la crevette ésope (p. ex., branchies noires, carapace noire, microsporidies et isopodes de la famille *Bopyridea*), la carapace noire étant la plus répandue (environ 2,5 % des individus échantillonnés au cours des relevés). Bien que l'influence globale de ces conditions sur la santé de la population demeure inconnue, certaines des conditions documentées peuvent avoir un effet direct sur la santé reproductive et la fécondité de la crevette ésope. Par exemple, les crevettes femelles infectées par des microsporidies ont des ovaires peu développés et des capacités d'accouplement réduites, tandis que la présence d'isopodes parasites de la famille *Bopyridea* entraîne une réduction significative du nombre d'œufs. La prévalence des différentes conditions épidémiologiques est généralement influencée par les conditions environnementales (p. ex., la température) et la densité de la population (Baker *et al.* 2021). Globalement, la prévalence annuelle de toute condition est demeurée faible dans l'ensemble de la population (Baker *et al.* 2021).

1.2. PÊCHE

Dans les eaux canadiennes, les débarquements de la pêche commerciale à la crevette ésope sont enregistrés pour la ZPC 4, la ZEE et la ZEO (figure 1) et ont été évalués à près de 59 millions de dollars canadiens en 2019 (MPO, données inédites). Dans la ZEO, la pêche à la crevette ésope est généralement ciblée, tandis que dans la ZPC 4 et la ZEE, la crevette ésope est considérée comme une prise accessoire dans le cadre de la pêche plus importante à la crevette nordique. Toutefois, les données enregistrées par les observateurs en mer font état d'un ciblage constant de la crevette ésope dans la ZPC 4 et la ZEE depuis le milieu des années 2000 (MPO, données inédites).

La pêche est gérée annuellement du 1^{er} avril au 31 mars. Dans la ZPC 4, la crevette ésope est gérée principalement en fonction d'un quota de prises accessoires. Un quota de prises accessoires de 4 033 tonnes (t) a été établi en 2013-2014; toutefois, les prises documentées de crevette ésope n'ont dépassé ce quota qu'une seule fois (en 2012). Dans la ZEO, le total admissible des captures (TAC) a augmenté régulièrement depuis 2010 (MPO 2021) pour atteindre 12 096 t en 2022-2023. Dans la ZEE, le quota est passé de moins de 1 000 t pour les années 2014 à 2021 à 1 400 t en 2022-2023. Les taux d'exploitation basés sur les prises déclarées ont généralement été inférieurs à 20 % dans la ZEO et à 25 % dans la ZEE et la ZPC 4 (MPO 2021, 2022).

La pêche a lieu en l'absence de glace et au moyen de chalutiers-usines congélateurs (plus de 33 m) et de chalutiers côtiers plus petits (MPO 2018). Bien qu'il n'y ait pas de taille minimale réglementaire pour la crevette ésope, on pense que le maillage minimal de 40 mm exclut les individus dont la LC est inférieure à 17 mm (MPO 2018). On pensait à l'origine que cette taille permettait à la plupart des crevettes de devenir des femelles avant de devenir vulnérables à la pêche, mais Baker et ses collaborateurs (2021) ont démontré que cette mesure était probablement inefficace pour protéger les mâles et les individus en transition, étant donné que les crevettes ésopes dans les zones où la pêche a lieu effectuent la transition à des tailles beaucoup plus grandes.

Les grilles Nordmore (grilles de tri dans les chaluts) sont obligatoires sur tous les chalutiers pour réduire les prises accessoires de mammifères marins, de tortues et de poissons de fond (MPO 2018). En 2007, la zone de conservation du bassin Hatton a été volontairement fermée aux engins de pêche entrant en contact avec le fond afin de protéger les coraux et les éponges

vulnérables dans le cadre d'une initiative menée par l'industrie (figure 1). En 2018, la fermeture du bassin Hatton a été élargie, et la zone a été officiellement désignée comme refuge marin (MPO 2018). Cette zone de 42 459 km² demeure fermée à la pêche entrant en contact avec le fond. En 2018, la zone de conservation du détroit de Davis (17 298 km²) a également été officiellement considérée comme un refuge marin et fermée à toute activité de pêche utilisant des engins entrant en contact avec le fond afin de protéger les coraux, les pennatules et les éponges s'y trouvant.

1.3. ÉVALUATION DE LA RESSOURCE

Bien qu'ils soient présents dans un système ouvert (Le Corre *et al.* 2020), les stocks de crevette ésope sont évalués séparément dans la ZPC 4, la ZEE et la ZEO tous les deux ans et traités comme faisant partie de systèmes fermés, ce qui crée une disparité d'échelle entre les unités d'évaluation et la dynamique de la population à plus grande échelle (MPO 2023a). La disparité entre les unités d'évaluation, les unités de gestion et les processus biologiques à l'échelle de la pêche peut avoir des conséquences inattendues, notamment une mauvaise gestion de la pêche. Par exemple, les changements dans la répartition peuvent être interprétés à tort comme des changements dans l'abondance de la population dans une ou plusieurs zones d'évaluation (Baker *et al.* 2024). Les zones d'évaluation constituent la base sur laquelle la Gestion des ressources halieutiques de Pêches et Océans Canada (MPO) gère la détermination et l'attribution des quotas après avoir pris en compte les avis scientifiques du MPO et les résultats des consultations avec les intervenants (MPO 2018).

Les évaluations se concentrent sur une variété d'indicateurs de stock, y compris les indices de la biomasse aux divers stades de maturité, les fréquences de longueur, la répartition et les statistiques de capture de la pêche à la crevette ésope (p. ex., MPO 2021). Dans la ZPC 4, les indices de la biomasse sont estimés à l'aide de la cartographie sous forme de courbe, méthode communément appelée OGMAP (Skanes et Evans 2005), à partir des données de relevé couvrant la période de 2005 à aujourd'hui. Dans la ZEE et la ZEO, les indices de la biomasse sont calculés à l'aide d'une méthode d'expansion spatiale fondée sur la stratification (STRAP) à partir des données de relevés allant de 2009 à aujourd'hui dans la ZEE et de 2014 à aujourd'hui dans la ZEO (Siferd 2015). La méthode STRAP a été abandonnée dans les évaluations des crevettes de la ZPC 4 en raison de sa dépendance à l'égard des strates spécifiquement développées pour les espèces de poissons de fond, ainsi que de ses intervalles de confiance importants/négatifs (Skanes et Evans 2005).

Les indices de la biomasse du stock exploitable et de femelles reproductrices dans les trois zones de gestion ont généralement varié sans tendance forte tout au long de leur série chronologique respective. On soupçonne que les déplacements entre les zones de gestion contribuent à la variabilité interannuelle des mesures de la taille des stocks (MPO 2021), mais l'ampleur de ce phénomène n'a pas été quantifiée. Les estimations de la biomasse les plus importantes ont tendance à se produire dans la ZEO, bien que la ZPC 4 puisse occasionnellement enregistrer des estimations annuelles d'environ la même ampleur (MPO 2021, 2022). Au cours des trois dernières années environ, la santé des stocks n'a pas suscité de préoccupations importantes dans toutes les zones, d'après les résultats des relevés et des évaluations (MPO 2021; 2022).

1.4. CADRE CONFORME À L'APPROCHE DE PRÉCAUTION

Actuellement, il n'existe pas de cadre conforme à l'approche de précaution pour la crevette ésope de la ZPC 4. Un PRL et un point de référence supérieur (PRS) sont nécessaires pour la crevette ésope de la ZPC 4 en vertu du Cadre décisionnel pour les pêches en conformité avec l'approche de précaution du MPO. Le PRL est défini comme l'état au-dessous duquel un stock

risque de subir des dommages graves, qui eux sont définis comme « un état indésirable qui peut être irréversible ou réversible lentement et à long terme seulement » (MPO 2023b). Les dommages n'ont pas besoin d'être causés par la pêche ou d'autres activités anthropiques, et ils peuvent être le résultat d'une dynamique naturelle dans le système (MPO 2023b). Le PRL est déterminé en fonction des meilleurs renseignements accessibles recensés par la Direction des sciences du MPO lors d'un processus d'examen par les pairs (MPO 2009).

En 2021, un PRL fondé sur le rétablissement du stock de crevette ésope de la ZPC 4 a été proposé et a fait l'objet d'un examen par les pairs. Le PRL proposé était de 13 900 t de biomasse exploitable et représentait l'estimation la plus basse à partir de laquelle la biomasse exploitable a pu se rétablir, trois ans plus tard, au-dessus de la moyenne de la série chronologique (MPO 2023a). Ce PRL n'a pas été accepté au cours du processus d'examen par les pairs, car cette méthode n'avait pas été utilisée auparavant pour un stock de crevette canadien (MPO 2023a). En 2021, les méthodes utilisées pour d'autres stocks de crevettes (c.-à-d. 0,4 ou 0,3 de l'approximation de la biomasse du stock reproducteur associée au rendement maximal durable) auraient placé le PRL en dessous de la biomasse historique minimale observée. Dans de tels cas, cette méthode n'est pas conseillée (MPO 2023b). Outre la critique selon laquelle la méthode n'était pas utilisée pour d'autres stocks de crevettes canadiens, d'autres participants ont estimé que le niveau proposé ne représentait pas un rétablissement prolongé parce que le point de rétablissement était un point unique au-dessus de la moyenne de la population, après quoi l'indice de la biomasse retombait en dessous de la moyenne (MPO 2023a). De l'avis général, la biomasse exploitable était un indicateur approprié de la santé du stock (MPO 2023a).

En 2020, des PRL ont été établis séparément pour les stocks de crevette ésope de la ZEE et de la ZEO (MPO 2020). Le PRL a été fixé à 40 % de la moyenne géométrique de l'indice de la biomasse du stock reproducteur (toutes les crevettes femelles, quelle que soit leur taille) entre 2009 et 2019 dans la ZEE et entre 2014 et 2019 dans la ZEO (MPO 2020). Les méthodes utilisées pour établir le PRL correspondaient généralement à celles utilisées pour les stocks de crevette nordique, bien qu'elles étaient légèrement plus conservatrices, en adoptant 40 % (au lieu de 30 %) de la moyenne géométrique de la biomasse du stock reproducteur (femelles). Cette méthode était conforme à la politique de l'approche de précaution du MPO, qui suggère un PRL de 40 % pour les stocks pour lesquels les données sont insuffisantes, et elle tenait compte de l'incertitude liée à la variabilité de la biomasse (MPO 2009, 2020). Lors de l'évaluation de la crevette ésope en 2021, les indices de la biomasse du stock reproducteur dans la ZEO et la ZEE ont été estimés bien au-dessus du PRL (MPO 2021). Le stock de crevette ésope de la ZEE n'a jamais été dans la zone critique pendant l'ensemble de la série chronologique du relevé, tandis que le stock de la ZEO a été considéré comme étant dans la zone *critique* en 2013-2014 (MPO 2020).

L'absence de relations claires entre le stock et le recrutement, ainsi que l'absence de tendances fortes ou de fluctuations constantes dans les indices de la biomasse et des captures et la brièveté des séries chronologiques de relevé ont eu pour conséquence que les méthodes courantes pour établir des points de référence pour les stocks à données limitées (p. ex., le modèle de production excédentaire en temps continu ou SPiCT) sont demeurées irréalisables pour la crevette ésope. Des approches fondées sur de multiples indicateurs pour établir des cadres conformes à l'approche de précaution ont été utilisées dans des situations similaires (MPO 2023b; Mullowney *et al.* 2018). Alors que les méthodes conventionnelles de l'approche de précaution se concentrent sur un seul indicateur (généralement la biomasse), les approches multi-indicateurs ont tendance à être plus holistiques et à prendre en compte l'ensemble de la santé d'un stock. Elles peuvent plus facilement intégrer des considérations écosystémiques, une exigence de la *Loi sur les pêches* modifiée (L.R.C., 1985, ch. F-14), des indicateurs de la

santé au niveau de l'espèce et de la population, ainsi que la dynamique des pêches (Mullowney et Baker 2023). En fait, au début du développement des systèmes de gestion conformes à l'approche de précaution à l'échelle internationale, l'intention de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) était d'établir des systèmes fondés sur de multiples variables et secteurs ainsi que sur la coopération (FAO 1996).

1.5. OBJECTIFS

Comme il est indiqué précédemment, il est présumé que la dynamique du stock de crevette ésope de la ZPC 4 est fortement influencée non seulement par les conditions dans la ZPC 4, mais aussi par celles dans les zones d'évaluation plus septentrionales (c.-à-d. ZEE et ZEO), où l'on pense que les individus des stocks se mêlent facilement les uns aux autres. Par conséquent, dans le contexte de cette disparité d'échelle entre les unités biologiques et les unités d'évaluation, le PRL proposé pour la ZPC 4 ne devrait pas être basé uniquement sur les conditions dans la ZPC 4, mais devrait prendre en compte les conditions et les dynamiques de la population dans son ensemble (c.-à-d. la ZPC 4, la ZEE et la ZEO combinées). Toutefois, le PRL ne vise qu'à fournir un avis sur le stock de la ZPC 4 et n'invalide pas les points de référence précédemment établis pour les stocks de crevette ésope de la ZEE et de la ZEO.

Dans le présent document, nous fournissons des détails sur trois indicateurs de la santé du stock de crevette ésope, englobant la santé de la population, la santé reproductive et les perspectives de l'écosystème concernant la zone d'étude (c.-à-d. la ZPC 4, la ZEE et la ZEO combinées), et sur un indicateur de la santé de la population propre à la ZPC 4. Le PRL pour la crevette ésope de la ZPC 4 basé sur l'indice de la biomasse exploitable (santé de la population) dans la zone d'étude est estimé à l'aide de trois méthodes. Les trois autres indicateurs sont présentés et seront utilisés comme « signaux d'alarme » liés à la santé du stock afin de garantir que toute tendance préoccupante dans ces paramètres soit signalée au cours des processus d'évaluation du stock.

2. MÉTHODES

2.1. SOURCES DE DONNÉES

2.1.1. Relevé de la Northern Shrimp Research Foundation

Le relevé de la Northern Shrimp Research Foundation (NSRF) a été initialement créé par 17 titulaires de permis de pêche hauturière à la crevette afin de combler des lacunes dans la recherche et les données sur les crevettes dans la ZPC 4 et la ZEE. Le relevé annuel de ces zones a débuté en 2005, grâce à un financement spécial de 2005 à 2021 et une allocation de crevette nordique dans la ZPC 4, et est autorisé en vertu de l'article 10 de la *Loi sur les pêches* depuis 2013. En 2014, un accord a été conclu entre la NSRF et des organisations régionales pour financer l'extension du relevé à la ZEO, qui a débuté la même année. Les trois zones ont donc été étudiées au cours de la même période avec le même navire et les mêmes protocoles de relevé et d'échantillonnage.

Le relevé aléatoire stratifié au chalut de la NSRF est réalisé pendant les mois d'été à l'aide d'un chalutier à crevettes commercial, avec des protocoles de relevé similaires à ceux des relevés multispécifiques du printemps et de l'automne du MPO (Walsh et McCallum 1997). La plupart des années, le relevé s'est déroulé de juillet à août à l'aide du navire *Aqvik* d'Ocean Choice International (OCI). Cependant, des problèmes opérationnels ont parfois entraîné la nécessité d'utiliser d'autres navires de l'OCI ou occasionné des retards, des pauses ou des prolongations

dans le calendrier du relevé. Les effets de ces ajustements n'ont pas été quantifiés, mais ils sont généralement considérés comme comparables compte tenu de la similitude des navires.

Le relevé est mené au moyen d'un chalut à crevettes Campelen 1800 standard (équipé d'un bourrelet saute-roche de 0,36 m) dans la ZPC 4 et d'un chalut à crevettes Campelen 1800 modifié (équipé d'un bourrelet saute-roche de 0,53 m) dans la ZEE et la ZEO. Le chalut modifié a été adopté pour réduire les déchirures, mais la capturabilité a été considérée comme égale entre les deux types de chaluts (Siferd et Legge 2014). Un instrument monté sur le chalut enregistre la température et la salinité au fond ainsi que la profondeur.

Des sous-échantillons de crevettes ont été prélevés au cours de chaque trait de chalut et triés par espèce, comptés et pesés. La maturité, le sexe, l'état général (p. ex., la présence de parasites), l'état de la carapace et la longueur de la carapace ont été enregistrés pour la crevette nordique et la crevette ésope (Siferd 2015). Les poissons et les invertébrés ont été triés par espèce, puis comptés et pesés. Tous les poids et nombres ont été normalisés à 1 km². Les captures ont été normalisées pour tenir compte des migrations nyctémérales des crevettes mâles (Baker *et al.* 2021; MPO 2022).

2.2. POINT DE RÉFÉRENCE LIMITE

2.2.1. Indice de la biomasse exploitable (BE_{pop})

La biomasse exploitable est composée des crevettes ésope dont la LC est supérieure à 17 mm et qui sont considérées comme vulnérables à la pêche. Étant donné que la crevette ésope des zones septentrionales effectue la transition à une taille supérieure, les crevettes faisant partie de la biomasse exploitable dans les eaux de l'Arctique sont des mâles (avant la transition), des individus en transition et des femelles (après la transition); très peu de femelles primaires ou de mâles n'effectuant pas de transition se trouvent dans les eaux septentrionales (Baker *et al.* 2021; Bergström 2000). Dans la zone d'étude, la crevette ésope mâle entame sa transition en femelle à une LC d'environ 20 mm, mais des individus en transition avec une LC de 10 à 28 mm ont été capturés lors de certains relevés (Baker *et al.* 2021). La biomasse exploitable de la crevette ésope est un indicateur approprié de la santé de la population parce qu'elle représente la partie de la population qui est vulnérable à la pêche et qu'il s'agit de crevettes relativement grandes qui se reproduisent en tant que femelles, ou encore de mâles et d'individus en transition qui deviendront éventuellement des femelles reproductrices.

Étant donné que les séries chronologiques du relevé de la NSRF et les méthodes d'estimation de la biomasse diffèrent entre les ZPC, une estimation de la biomasse exploitable basée sur un modèle a été nécessaire pour développer un indice de la biomasse à série chronologique complète pour l'ensemble de la zone d'étude (ZPC 4, ZEE et ZEO combinées).

Un modèle spatio-temporel a été élaboré pour estimer la biomasse exploitable de la crevette ésope dans la zone d'étude (BE_{pop}) tout au long de la série chronologique (2005 à 2022) à l'aide du progiciel *sdmTMB* écrit en R (Anderson *et al.* 2022). Le progiciel *sdmTMB* s'inspire du progiciel Vector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST; Thorson 2019). La forme fonctionnelle de base des modèles de chaque méthodologie est équivalente, ce qui permet d'obtenir des résultats identiques s'ils sont configurés de la même manière (Anderson *et al.* 2022). Le progiciel *sdmTMB* a été accepté par le Conseil international pour l'exploration de la mer (CIEM) et l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO) comme technique d'estimation de la biomasse des populations pour lesquelles la couverture des relevés n'est pas régulière, et il est actuellement utilisé pour évaluer la biomasse des stocks de crevette nordique des profondeurs du Skagerrak en Norvège (CIEM 2022; OPANO 2022). De plus, le comité permanent sur la coordination de la recherche (STACREC) de l'OPANO a recommandé que le

progiciel *sdmTMB* fasse l'objet d'une étude plus approfondie en vue de son utilisation pour les stocks de la zone réglementée par l'OPANO (OPANO 2022). Le progiciel *sdmTMB* a également été accepté par le Northwest Fisheries Science Center Scientific Statistical Committee (SSC) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) en vue de son utilisation dans des évaluations, et elle est régulièrement utilisée dans les évaluations des stocks de la région du Pacifique du MPO (p. ex., Grandin *et al.* sous presse¹; Haggarty *et al.* 2022; Huynh *et al.* sous presse²).

Nous présentons ici un résumé du modèle d'estimation de la biomasse; des détails sur les méthodologies, les résultats et les points de discussion se trouvent dans Baker *et al.* (2024).

Le modèle de l'indice de la biomasse exploitable (BE_{pop}) peut être décrit comme suit :

Éq. 1

$$\begin{aligned} \mathbb{E}[y_{s t}] &= \mu_{s t} \\ \mu_{s t} &= f^{-1}(\alpha_t + g(D_{s t}) + \omega_s + \epsilon_{s t}) \end{aligned}$$

Où $y_{s t}$ représente la densité (kg/km²) des crevettes ésoques exploitables capturées dans un échantillon au cours du relevé au chalut au point spatial s et au moment t (année) et $\mathbb{E}[y_{s t}]$ indique sa valeur attendue. Le symbole μ représente la moyenne de la densité des crevettes ésoques exploitables, f représente une fonction de liaison (logit ou log) et f^{-1} représente son inverse. Le symbole α_t représente un intercept indépendant pour chaque année et $g(D_{s t})$ représente une fonction de lissage pénalisée pour la profondeur du fond (m) de l'échantillon de chalutage. Le symbole ω_s représente une composante spatiale à effet aléatoire (un champ aléatoire), $\omega_s \sim MVN(\mathbf{0} \ \Sigma_\omega)$; et $\epsilon_{s t}$ représente une composante spatio-temporelle à effet aléatoire (champs aléatoires), $\epsilon_{s t} \sim MVN(\mathbf{0} \ \Sigma_\epsilon)$. Les champs aléatoires spatio-temporels ont été posés comme indépendants d'une année à l'autre; les champs aléatoires spatiaux et spatio-temporels représentent comment les paramètres d'habitat propice non mesurés ou latents évoluent dans l'espace et d'une année à l'autre. Le modèle utilise une famille delta-lognormale (une distribution binomiale avec un lien logit pour les rencontres/non-rencontres et une distribution lognormale avec un lien log conditionnel pour les rencontres). La corrélation spatiale et spatio-temporelle au sein des champs aléatoires est contrainte par une fonction de Matérn anisotrope avec des plages spatiales distinctes (distance à laquelle la corrélation est approximativement de 0,1) pour les champs spatiaux et spatio-temporels et les composantes binomiales/lognormales, mais avec un degré d'anisotropie partagé entre les champs et les composantes du modèle afin de faciliter l'estimation.

Pour faciliter l'interprétation, les formulations de modèle sont présentées ici à l'aide d'un code pseudo-R suivant une syntaxe *mgcv* (Wood 2017), de sorte que l'Éq. 1 est équivalente à l'Éq. 2.

Éq. 2.

$$\text{Densité} = \text{s(Profondeur)+Année}$$

Où *Densité* est la densité (kg/km²) de crevettes ésoques exploitables capturées dans un trait au cours du relevé au chalut. *Profondeur* est la profondeur du fond (m) du trait de chalut et *Année* est l'année où le trait de chalut a été effectué et est représentée comme un facteur. Les

¹ Grandin, C.J., Anderson, S.C. et English, P.A. En préparation. Arrowtooth Flounder (*Atheresthes stomias*) Stock Assessment for the West Coast of British Columbia in 2021. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech.

² Huynh, Q.C., Siegle, M.R. et Haggarty, D.R. En préparation. Application of the Management Procedure Framework for Inside Quillback Rockfish (*Sebastes mairjiger*) in British Columbia in 2021. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech.

dimensions de base (c.-à-d. la complexité) des splines de régression à plaques minces (s) utilisées dans la relation lisse entre la *profondeur* et la *densité* sont représentées par k.

La densité annuelle a été prédite dans l'ensemble de la zone d'étude sur une surface de profondeur avec cellules de grille de 5 km² (IOC *et al.* 2022). Ensuite, une BE_{pop} à pondération surfacique annuelle a été calculée dans la zone d'étude à l'aide de la masse surfacique prédite en additionnant la densité prédite par cellule de la grille multipliée par la surface de la cellule. Les écarts-types des estimations annuelles ont été calculés en utilisant la méthode du delta généralisé dans TMB (Kristensen *et al.* 2016), et le biais des valeurs moyennes a été ajusté pour tenir compte de la transformation non linéaire des effets aléatoires (Thorson et Kristensen 2016).

De nombreux efforts ont été déployés pour créer un modèle de prévision précis et exact pour la crevette ésope, mais cela n'a pas été possible en raison de la durée relativement courte de la série chronologique du relevé. Les efforts visant à créer un modèle de prévision efficace se poursuivront à mesure que la série chronologique du relevé s'allongera.

2.2.2. Détermination du point de référence

La détermination d'une valeur unique en dessous (ou au-dessus) de laquelle les indicateurs de la santé d'un stock deviennent « *critiques* » dépend de différentes méthodologies indiquant des valeurs différentes et est toujours sujette à des mises en garde et à un niveau de critique sain. Chaque méthode de détermination du point de référence repose sur des hypothèses explicites ou implicites concernant la dynamique de la population, la variabilité de l'écosystème, etc. (p. ex., les facteurs écosystémiques sous-jacents de la dynamique de la population restent constants). La crevette ésope forme un stock pour lequel les données sont insuffisantes, c'est pourquoi nous avons utilisé plusieurs approches comparatives pour déterminer ces valeurs. Cette approche a été utilisée avec succès pour établir le PRL pour d'autres stocks de mollusques et de crustacés de Terre-Neuve-et-Labrador (p. ex., le crabe des neiges, *Chionoecetes opilio*; Mullowney *et al.* 2018).

Trois méthodes ont été utilisées pour déterminer la valeur potentielle du PRL liée à la santé de la population de crevette ésope exploitable, en utilisant l'indicateur BE_{pop}.

1. Un point limite (PL) a été estimé en fonction de B_{rétablissement} (MPO 2023a). Les méthodes fondées sur B_{rétablissement} et B_{perte} (plus petite taille de stock observée) sont couramment utilisées pour déterminer le PRL lorsqu'un stock n'a pas de relation stock-recrutement (Silvar-Viladomiu *et al.* 2022). La B_{rétablissement} a été définie comme la BE_{pop} la plus basse à partir de laquelle le stock a augmenté et s'est rétabli de manière prolongée, de sorte que trois ans plus tard, il est resté au-dessus de la moyenne géométrique de la biomasse de la série chronologique (2005-2022) pendant une période d'au moins trois ans. Le délai de trois ans a été choisi parce qu'il représente le temps minimal nécessaire à une larve de crevette ésope pour atteindre la taille exploitable.
2. Un PL a été déterminé sur la base d'une méthodologie similaire examinée par des pairs et acceptée pour les crevettes *Pandalus* spp. dans la ZEO et la ZEE (MPO 2020). Ce PL correspond à 40 % de la moyenne géométrique de la BE_{pop} tout au long de la série chronologique (2005-2022). Cette méthode est conforme à celle mentionnée dans la politique sur l'approche de précaution du MPO (MPO 2009).
3. Un PL a été déterminé sur la base de B_{perte} (MPO 2023b). La B_{perte} a été définie comme la plus faible BE_{pop} observée au cours de la série chronologique (2005-2022). Il s'agit d'une méthode couramment utilisée pour déterminer le PRL d'un stock pour lequel il n'y a pas de

relation stock-recrutement évidente ni de problèmes de recrutement connus au cours de son histoire (Silvar-Viladomiu *et al.* 2022).

La moyenne des trois estimations de PL a été utilisée comme PL final lié à BE_{pop} .

Dans cette étude, l'indice BE_{pop} sera rapporté comme une valeur mise à l'échelle en référence au PRL (BE_{pop}/PRL), de sorte que le PRL soit équivalent à 1 (p. ex., en 2021, la BE_{pop} est trois fois supérieure au PRL).

L'utilisation d'un PRL basé sur une méthodologie garantit également que lorsque des améliorations annuelles sont apportées au modèle (p. ex., plus d'années de données sont incluses ou incorporation de covariables supplémentaires) et conduisent à des estimations modifiées de BE_{pop} , le PRL peut être et sera mis à jour en conséquence en utilisant les méthodologies établies et les estimations affinées dérivées du modèle pour la période de référence (2005-2022).

2.3. SIGNAUX D'ALARME LIÉS À LA SANTÉ DU STOCK

2.3.1. Santé reproductive

La fécondité potentielle de la crevette ésope est proportionnelle à la longueur du corps de la femelle (Shumway *et al.* 1985), et à ce titre, la taille des femelles combinée à leur abondance (c.-à-d. leur nombre) peut fournir des indications sur le potentiel reproductif de la population. Par conséquent, l'indice de la ponte totale prend directement en considération l'abondance et la répartition selon la taille des femelles. Ainsi, nous avons développé une mesure de la ponte totale à l'échelle de la zone d'étude en utilisant une modélisation spatio-temporelle, similaire à la modélisation utilisée pour la mise au point de BE_{pop} .

Aucune relation connue entre la taille (LC) et la fécondité n'existe pour la crevette ésope dans la zone d'étude; la relation définie par Parsons et Tucker (1986) a donc été utilisée pour estimer la fécondité potentielle de chaque femelle capturée dans un trait de chalut au cours du relevé de la NSRF. Cette relation est basée sur les crevettes nordiques capturées dans le nord de la mer du Labrador (au large du cap Chidley) en 1982 (Parsons et Tucker 1986). La crevette nordique et la crevette ésope ont tendance à présenter des caractéristiques similaires en matière de cycle biologique (Squires 1996), de sorte que cette relation a été considérée comme la meilleure disponible.

Éq. 3.

$$\text{Log}_{10}(\text{fécondité}_F) = 3,2715 * \log_{10}(\text{LC}) - 1,4550$$

Où fécondité_F est le nombre prédit d'œufs portés par une femelle et LC est la longueur de la carapace de la femelle (mm).

Un modèle spatio-temporel a été développé dans le progiciel *sdmTMB* (Anderson *et al.* 2022) pour estimer la production d'œufs, en utilisant la fécondité potentielle additionnée à la fécondité individuelle (calculée dans l'Éq. 2) à chaque emplacement de trait.

Modèle de l'indice de la ponte totale (IPT) :

Éq. 4.

$$\text{Ponte}_{\text{trait}} = s(\text{Profondeur}, k = 5) + \text{comme.facteur}(\text{Année})$$

Où $\text{Ponte}_{\text{trait}}$ est le nombre prédit normalisé d'œufs (milliers d'œufs/km²). *Année* est l'année au cours de laquelle le trait de chalut a été effectué et est représentée comme un facteur, et *Profondeur* est la profondeur moyenne à laquelle le trait de chalut a été effectué (m). Les

dimensions de base (c.-à-d. la complexité) des splines de régression à plaques minces utilisées dans la relation lisse entre la *profondeur* et la *ponte* sont représentées par k . L'autocorrélation spatiale et spatio-temporelle a été incluse sous forme de champs aléatoires gaussiens, ce qui permet de tenir compte des changements non mesurés ou latents des paramètres d'habitat propice dans l'espace et par année. Les champs aléatoires spatio-temporels ont été posés comme indépendants d'une année à l'autre. Le modèle utilise une distribution delta log-normale et une anisotropie incorporée.

En utilisant les résultats de l'Éq. 4, l'indice de la ponte a été prédit dans l'ensemble de la zone d'étude sur une surface de profondeur avec cellules de grille de 5 km². Ensuite, un IPT annuel pondéré par zone a été calculé de 2005 à 2022 dans la zone d'étude en utilisant la masse surfacique prédite et les mêmes méthodes que celles décrites pour BE_{pop}.

L'IPT a été conçu pour servir de « signal d'alarme » associé à la santé reproductive et à ce qui devrait influencer l'abondance de la crevette ésope exploitable trois ans (ou probablement plus) dans le futur. Nous ne savons pas exactement combien d'années il faut à la crevette ésope pour passer de l'œuf à une taille exploitable, mais la période est probablement plus longue que chez les populations plus méridionales de *Pandalus* spp. (Baker *et al.* 2021). Et comme nous ne savons pas si un mauvais IPT une seule année entraînerait des résultats significativement mauvais pour la population, nous avons utilisé une moyenne mobile sur trois ans de l'IPT comme indicateur.

2.3.2. Perspectives écosystémiques

Des analyses du contenu stomacal de prédateurs potentiels dans l'ensemble de la zone d'étude ont révélé la présence de la crevette ésope dans l'estomac de sébastes, de flétans du Groenland, de raies et de grenadiers (Polaczek *et al.* 2023) et de morues franches (MPO, données inédites). L'influence globale de ces prédateurs sur les tendances de la biomasse de la crevette ésope et sur la dynamique de la population n'a pas été quantifiée. Cependant, la dynamique des populations de crevettes *Pandalus* spp. est généralement influencée par des facteurs descendants, tels que les prédateurs. Par exemple, dans le golfe du Maine, les populations de calmar totam (*Doryteuthis pealeii*) ont été considérées comme un facteur important dans l'effondrement du stock de crevette nordique (Richards et Hunter 2021). Au large de Terre-Neuve-et-Labrador, la productivité de la crevette nordique a été négativement liée à la biomasse de la morue franche, des sébastes et du flétan du Groenland de l'année précédente (Pedersen *et al.* 2022). Dans les eaux de l'ouest du Groenland, le flétan du Groenland a entravé la croissance de la population de crevette nordique, malgré des conditions environnementales favorables à la croissance de cette population (Wieland *et al.* 2007). L'incorporation des prédateurs en tant que « signal d'alarme » lié à la santé du stock permettra d'intégrer officiellement des facteurs écosystémiques dans les évaluations du stock de crevette ésope de la ZPC 4 et de donner un aperçu des problèmes actuels et prévus pour la population de crevette ésope en raison d'un forçage descendant.

La zone d'étude a connu une forte augmentation des populations de sébastes ces dernières années (Baker *et al.* en préparation¹), mais cette augmentation a été dominée par de petits individus (c.-à-d. trop petits pour se nourrir de crevettes exploitables). Étant donné que les sébastes ont tendance à être capturés par cohorte de taille similaire lors d'un trait de relevé unique (c.-à-d. qu'il y a très peu de variation de la taille des sébastes capturés lors d'un trait), le poids/nombre total enregistré au cours de chaque trait a été utilisé comme indication approximative de la taille des sébastes au sein de chaque trait. Les sébastes de plus de 15 cm environ, soit environ 44 g (Perreault *et al.* 2022), étaient considérés comme des prédateurs potentiels de la crevette ésope exploitable (MPO, données inédites), ci-après appelés « grands sébastes ». Tous les traits pour lesquels le poids moyen des sébastes était inférieur à 0,044 kg

ont été définis à zéro afin de calculer une estimation des sébastes considérés comme des prédateurs potentiels de la crevette ésope exploitable.

Un indice des prédateurs potentiels (IPP) a été calculé à l'aide des données accessibles du relevé de la NSRF. La biomasse des grands sébastes, du flétan du Groenland, des raies et des grenadiers a été estimée individuellement dans R à l'aide du progiciel *sdmTMB* et de techniques similaires à celles décrites dans l'Éq. 1 et dans Baker *et al.* (en préparation¹).

Modèle de l'IPP (en fonction du taxon) :

Éq. 5.

$$\text{Densité}_{\text{poisson}} = s(\text{Profondeur}, k = 5) + \text{comme.facteur}(\text{Année})$$

Où $\text{Densité}_{\text{poisson}}$ est la densité prédite (kg/km²) de chaque taxon de poisson pour un trait donné. *Profondeur* est la profondeur du fond (m) du trait de chalut et *Année* est l'année où le trait de chalut a été effectué et est représentée comme un facteur. Les dimensions de base (c.-à-d. la complexité) des splines de régression à plaques minces utilisées dans la relation lisse entre la *profondeur* et la *densité* sont représentées par *k*. L'autocorrélation spatiale et spatio-temporelle a été incluse sous forme de champs aléatoires gaussiens, ce qui permet de tenir compte des changements non mesurés ou latents des paramètres d'habitat propice dans l'espace et par année. Les champs aléatoires spatio-temporels ont été posés comme indépendants d'une année à l'autre. La famille utilisée pour la modélisation dépendait du taxon de poisson (selon le critère d'information d'Akaike) : flétan du Groenland (Tweedie); grands sébastes (delta log-normal); raies (delta log-normal); grenadiers (delta log-normal).

La densité de chaque taxon de poisson a été prédite dans l'ensemble de la zone d'étude sur une surface avec cellule de grille de 5 km² (IOC *et al.* 2022). Ensuite, les indices de la biomasse annuels ont été calculés dans la zone d'étude en utilisant la masse surfacique prédite et les mêmes méthodes que celles utilisées pour calculer BE_{pop} . Les indices de la biomasse de tous les taxons ont été additionnés pour créer un IPP pour la zone d'étude.

Comme pour l'IPT, les pics annuels des indices de la biomasse des prédateurs ont été considérés comme peu susceptibles d'avoir des effets durables sur la future biomasse exploitable. Une moyenne mobile sur trois ans de l'IPP a donc été utilisée comme signal d'alarme.

2.3.3. Santé de la population dans la ZPC 4

Une estimation de la biomasse exploitable dans la ZPC 4 (uniquement) a été utilisée comme indicateur de la santé de la population de crevette ésope dans la ZPC 4. Cette mesure a été incluse pour recenser les signes d'épuisement localisé dans la ZPC 4. Pour assurer la cohérence avec l'évaluation du stock de crevette ésope de la ZPC 4, les estimations dérivées de la méthode OGMAP ont été utilisées pour examiner les tendances de cet indicateur (voir Le Corre *et al.* en préparation³ pour plus de détails).

³ Le Corre, N., Skanes, K.R., Baker, K.D., Sullivan, D., Coffey, W., Cyr, F., Belanger, D. et Morrissey, K. En préparation. An Assessment of Northern Shrimp (*Pandalus borealis*) and Striped Shrimp (*Pandalus montagui*) in Shrimp Fishing Area 4 in 2022. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech.

3. RÉSULTATS

3.1. POINT DE RÉFÉRENCE LIMITE – SANTÉ DE LA POPULATION

La répartition des crevettes ésoques exploitables dans l'ensemble de la zone d'étude a montré un schéma général de densités particulièrement importantes et constantes près de la frontière entre la ZEO et la ZEE, le long du bord du plateau dans la ZPC 4 et dans le détroit d'Hudson (figure 2). La BE_{pop} dérivée du modèle était faible en 2005 et 2006, puis est restée variable tout au long de la série chronologique (figure 3). La BE_{pop} la plus élevée de la série chronologique a été enregistrée en 2022.

L'année 2010 a connu la biomasse exploitable la plus faible, à partir de laquelle la biomasse exploitable a pu se rétablir au-delà de la moyenne à long terme trois ans plus tard et rester rétablie pendant trois ans – $B_{rétablissement}$ (figure 3). La B_{perte} correspondait à la BE_{pop} en 2005. Sur la base des premiers résultats de la modélisation, le PRL fondé sur BE_{pop} a été estimé à une valeur comprise entre les niveaux de 2006 et de 2007 (figure 4).

En 2022, la BE_{pop} a été estimée à cinq fois le PRL avec une grande certitude (figure 4).

3.2. SIGNAUX D'ALARME LIÉS À LA SANTÉ DU STOCK

3.2.1. Santé reproductive

La taille (LC) des femelles a varié de 8 à 32,9 mm, avec une moyenne de 22,3 mm, tout au long de la série chronologique. La ponte propre à chaque trait a varié de 0 à 55 millions d'œufs, avec une moyenne de 936 681 œufs. La moyenne mobile sur trois ans de l'IPT dans l'ensemble de la zone d'étude a augmenté de 2007 à 2016, puis a diminué jusqu'en 2021, mais est restée supérieure à la moyenne à long terme (figure 5). L'IPT reste élevé en 2022 et ne suscite aucune préoccupation.

3.2.2. Perspectives écosystémiques

La moyenne mobile sur trois ans de l'IPP a augmenté entre 2007 et 2013, puis a généralement diminué entre 2013 et 2021 (figure 6). La valeur pour 2022 est légèrement supérieure à la moyenne de la série chronologique. La tendance a été fortement influencée par la biomasse du flétan du Groenland et des grands sébastes, tandis que les indices de la biomasse des autres prédateurs potentiels sont restés à une faible proportion de l'IPP global tout au long de la série chronologique (figure 6). En 2022, l'IPP n'a suscité aucune préoccupation.

3.2.3. Santé de la population dans la ZPC 4

L'indice de la biomasse exploitable propre à la ZPC 4, à l'exception de 2008, a été relativement faible de 2005 à 2012. Depuis 2013, il est resté supérieur à la valeur moyenne de la série chronologique de 2005 à 2013. En 2022, l'indice était supérieur à la moyenne à long terme, affichait une tendance à la hausse depuis 2020 et ne suscitait aucune préoccupation (figure 7).

4. DISCUSSION

4.1. APPROCHES FONDÉES SUR DES MODÈLES ET DES INDICATEURS MULTIPLES

Le développement de modèles spatio-temporels pour l'estimation des indices de la biomasse dans l'ensemble de la zone d'étude est une étape importante pour une compréhension plus

approfondie de la dynamique de la population et permet de se rapprocher de l'évaluation de la population dans son ensemble (Hilborn 2002), réduisant ainsi la disparité d'échelle. Les méthodologies basées sur des modèles peuvent tenir compte de l'incohérence de la collecte des données et de la couverture inévitablement incomplète des relevés (Evans *et al.* 2021), tiennent compte des effets aléatoires, intègrent des facteurs variables dans l'espace et font des prédictions dans des zones plus petites ou plus grandes que la zone de relevé (Barnett *et al.* 2021).

Les crevettes de la famille des pandalidés ont des répartitions et des schémas d'abondance disparates. La méthode OGMAP, et plus particulièrement la méthode STRAP, peuvent être fortement influencées par une seule prise importante dans une strate donnée, qui peut à son tour facilement fausser les estimations de la biomasse pour l'ensemble de la strate et entraîner des intervalles de confiance disproportionnés, comme en témoignent les estimations de la biomasse de la crevette nordique dans la ZPC 4 en 2022 (MPO 2023c).

Les méthodes conventionnelles pour l'élaboration d'un cadre conforme à l'approche de précaution et la détermination des points de référence ont permis d'obtenir des indicateurs qui s'écartent rarement des indicateurs de la biomasse ou de l'abondance simples (Hilborn 2002). Toutefois, l'adoption officielle de signaux d'alarme permet une approche plus holistique axée sur l'état général du stock. De plus, l'utilisation de plusieurs méthodes pour aider à déterminer quand un stock peut être considéré comme atteignant le point où il risque de subir des dommages graves, en particulier dans le cas d'un stock pour lequel les données sont insuffisantes ou pour lequel les séries chronologiques de données sont courtes (MPO 2023a), met en évidence la variabilité des méthodes et permet d'incorporer différentes hypothèses et objectifs à prendre en compte dans leur détermination.

4.2. RÉSULTATS LIÉS À L'ÉTAT DU STOCK

Tout au long de la série chronologique du relevé de la NSRF, la BE_{pop} de la crevette ésope est, la plupart du temps, restée supérieure au PRL. En conséquence, l'état général du stock a été considéré comme étant supérieur au PRL pour toutes les années, sauf deux : le stock a été jugé comme étant dans la zone *critique* en 2005 et 2006.

Les trois indicateurs servant de signaux d'alarme pour la santé du stock n'ont suscité aucune préoccupation au cours des dernières années. En 2022, l'IPT et l'indice de la biomasse exploitable propre à la ZPC 4 sont restés supérieurs à la moyenne de leur série chronologique, tandis que l'IPP était légèrement supérieur à la moyenne de la série chronologique.

Bien que la crevette ésope ne soit pas considérée comme étant ciblée par la pêche dans la ZPC 4, les enregistrements d'activités de pêche ciblées ont augmenté ces dernières années et les indices de taux d'exploitation peuvent être assez élevés dans la série chronologique accessible (p. ex., supérieur à 15 % en 2011-2012 et 2012-2013). Il faut veiller à ne pas sous-estimer le potentiel de la pression de pêche (tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de la ZPC 4) à influencer la dynamique de la population parce que la crevette ésope est capturée en tant que prise accessoire.

4.3. REGARD VERS L'AVENIR

Les efforts visant à prévoir la biomasse future de la crevette ésope doivent être poursuivis. En raison de la série chronologique relativement courte des données de relevé accessibles, les analyses préliminaires (non présentées ici) n'ont pas permis de créer un modèle fiable pour prédire la biomasse de la crevette ésope. Une fois développé, le modèle de prévision pourrait facilement être intégré dans le cadre conforme à l'approche de précaution en utilisant la BE_{pop} prévue plutôt que la dernière estimation accessible provenant du relevé pour aider à promouvoir

la gestion en temps réel de l'utilisation de la ressource. De plus, les efforts visant à améliorer les estimations de la BE_{pop} dérivées du modèle se poursuivront, à mesure de l'obtention de données supplémentaires et de la détermination de covariables additionnelles.

Il existe une cohorte extrêmement importante de petits sébastes dans la zone d'étude (Baker *et al.* en préparation¹). On s'attend à ce que les sébastes juvéniles se retrouvent en concurrence pour les ressources alimentaires jusqu'à ce qu'ils atteignent une taille où la prédation sur les crevettes est possible (MPO, données inédites). À mesure qu'ils grandiront, ils pourraient avoir une influence croissante sur l'écosystème, à la fois en tant que prédateurs et en tant que concurrents pour les ressources. Le taux de consommation de crevettes par les sébastes et leur influence potentielle sur la dynamique de la population de crevette ésope demeurent inconnus. Il est impératif d'entreprendre des recherches plus approfondies sur la dynamique des sébastes et leur consommation de crevettes afin de mieux comprendre leur influence sur la dynamique des populations de crevettes *Pandalus* spp. De plus, des efforts devraient être déployés pour explorer des collaborations avec des chercheurs dans des zones où des changements importants dans les populations de sébastes ont influencé les tendances des populations de crevettes *Pandalus* spp. afin d'aider à prédire les répercussions futures d'une cohorte de sébastes aussi importante.

Aucune relation entre la LC et la fécondité n'étant connue pour la crevette ésope, celle pour la crevette nordique a été utilisée comme substitut. L'IPT de la population de crevette ésope de la ZPC 4 suppose actuellement une relation constante entre la LC et la fécondité tout au long de la série chronologique, mais dans le cas de la crevette nordique, on sait que cette relation varie dans l'espace et dans le temps en raison de changements environnementaux et écologiques, notamment la présence de parasites dans les masses d'œufs et les changements de température de l'eau (Beita Jiménez 2021; Parsons et Tucker 1986; Shumway *et al.* 1985). Afin que les changements liés à l'IPT soient correctement documentés au sein de la population, le plan d'échantillonnage de la NSRF devrait comprendre un échantillonnage aléatoire stratifié des crevettes ésopes femelles basé sur la taille pour estimer la relation entre la LC et la fécondité chaque année, ce qui permettrait d'ajuster les calculs de la ponte annuelle et propre à chaque trait sur la base de ces résultats. Cela permettra d'obtenir une estimation plus précise de l'IPT pour l'avenir, tout en garantissant que les variations dans les relations entre la LC et la fécondité soient notées et étudiées plus en profondeur, notamment en relation avec les conditions épidémiologiques potentielles au sein de la population.

Même si les stocks de la ZEE, de la ZEO et de la ZPC 4 continueront d'être évalués séparément par différentes régions administratives du MPO, nous encourageons fortement l'intégration d'analyses portant sur l'ensemble de la zone (p. ex., estimations de la biomasse et L50) dans les évaluations futures de la crevette ésope de la ZPC 4 afin d'obtenir une image plus complète de la dynamique des populations du nord du Canada. Cela permettra aux scientifiques chargés de l'évaluation, à l'industrie et à la Gestion des ressources halieutiques de considérer la dynamique du stock de la ZPC 4 dans le contexte plus large de la population nordique. Ceci est particulièrement important pour la ZPC 4, car elle est située en aval de la ZEE et de la ZEO et sera directement influencée par les changements survenant dans ces zones d'évaluation. De plus, contrairement aux stocks de crevette nordique situés plus au sud, le calendrier du relevé par rapport à la pêche de la crevette ésope dans la ZPC 4 ne permet pas de calculer les indices de taux d'exploitation pour l'année suivante.

5. RÉFÉRENCES CITÉES

- Anderson, S.C., Ward, E.J., English, P.A., and Barnett, L.A.K. 2022. [sdmTMB: an R package for fast, flexible, and user-friendly generalized linear mixed effects models with spatial and spatiotemporal random fields](#). bioRxiv.
- Baker, K.D., Fifield, D.A., Mallowney, D.R., and Skanes, K.R. 2021. [Ecology and epidemiology of the striped shrimp, *Pandalus montagui* Leach, 1814 \(Decapoda: Caridea\), in the northern Labrador Sea, Davis Strait, and Ungava Bay, Canada](#). J. Crustac. Biol. 41(2): ruab024.
- Baker, K.D., Anderson S.C., Mallowney, D.R.J., Walkusz W., and Skanes, K.R. 2024. [Moving away from a scale mismatch: Spatiotemporal modelling of striped shrimp \(*Pandalus montagui*\) density in Canada's subarctic](#). Fish. Res. 270: 106898.
- Barnett, L.A., Ward, E.J., and Anderson, S.C. 2021. [Improving estimates of species distribution change by incorporating local trends](#). Ecography. 44: 427–439.
- Beita Jiménez, A. 2021. [Spatiotemporal variability in northern shrimp \(*Pandalus borealis*\) life history traits in Newfoundland and Labrador](#). Masters thesis, Memorial University of Newfoundland.
- Bergström, B.I. 2000. [The biology of *Pandalus*](#). Adv. Mar. Biol. 38: 56–245.
- DFO. 2009. [A fishery decision-making framework incorporating the precautionary approach](#). Retrieved 30 January 2023.
- DFO. 2018. [Northern shrimp and striped shrimp - Shrimp fishing areas 0, 1, 4-7, the Eastern and Western Assessment Zones and North Atlantic Fisheries Organization \(NAFO\) Division 3M](#). Integrated Fisheries Management Plan.
- Evans, R., English, P.A., Anderson, S.C., Gauthier, S., and Robinson, C.L. 2021. [Factors affecting the seasonal distribution and biomass of *E. pacifica* and *T. spinifera* along the Pacific coast of Canada: A spatiotemporal modelling approach](#). PLoS ONE. 16(5): e0249818.
- FAO. 1996. Precautionary approach to capture fisheries and species introductions. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Technical Guidelines for Responsible Fisheries. 2: 54.
- Haggarty, D.R., Huynh, Q.C., Forrest, R.E., Anderson, S.C., Bresch, M.J., Keppel, E.A. 2022. [Évaluation des stratégies de rétablissement possibles pour le sébaste aux yeux jaunes \(*Sebastes ruberrimus*\) des eaux intérieures de la Colombie-Britannique](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/008. vi + 141 p.
- Hilborn, R. 2002. The dark side of reference points. Bull. Mar. 70(2): 403–408.
- Hudon, C., Parsons, D., and Crawford, R. 1992. [Diel Pelagic Foraging by a Pandalid Shrimp \(*Pandalus montagui*\) off Resolution Island \(Eastern Hudson Strait\)](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49(3): 565–576.
- ICES. 2022. [Benchmark workshop on *Pandalus* stocks \(WKPRAWN\)](#). ICES Scientific Reports.
- IOC, IHO, and BODC. 2022. GEBCO 2022 Grid. General Bathymetric Chart of the Oceans.
- Kristensen, K., Nielsen, A., Berg, C.W., Skaug, H. and Bell, B.M. 2016. [TMB: Automatic Differentiation and Laplace Approximation](#). J. Stat. Softw. 70(5): 1–21.
- Le Corre, N., Pepin, P., Han, G., Ma, Z., and Snelgrove, P.V.R. 2019. [Assessing connectivity patterns among management units of the Newfoundland and Labrador shrimp population](#). Fish. Oceanogr. 28: 183–202.

-
- Le Corre, N., Pepin, P., Burmeister, A., Walkusz, W., Skanes, K., Wang, Z., Brickman, D., and Snelgrove, P.V.R. 2020. [Larval connectivity of northern shrimp \(*Pandalus borealis*\) in the Northwest Atlantic](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 77(8): 1332–1347.
- MPO. 2020. [Avis scientifique sur les points de référence limites pour la crevette nordique \(*Pandalus borealis*\) et la crevette ésope \(*Pandalus montagui*\) dans les zones d'évaluation est et ouest](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2020/053
- MPO. 2021. [Évaluation des stocks de crevette nordique \(*Pandalus borealis*\) et de crevette ésope \(*Pandalus montagui*\) dans les zones d'évaluation est et ouest, février 2021](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2021/014. (Erratum : Novembre 2021)
- MPO. 2022. [Mise à jour de l'état du stock de crevette ésope \(*Pandalus montagui*\) dans le zone de pêche de la crevette 4 en 2021](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Rép. des Sci. 2022/012.
- MPO. 2023a. [Compte rendu de la réunion sur les avis scientifiques zonal d'évaluation de la crevette nordique dans les zones de pêche \(ZPC\) 4 à 6 et dans les zones d'évaluation est et ouest, et de la crevette ésope dans la ZPC 4 et dans les zones d'évaluation est et ouest; du 22 au 26 février 2021](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Compte rendu 2023/028.
- MPO. 2023b. [Avis scientifique concernant les lignes directrices sur les points de référence limites dans le cadre des dispositions relatives aux stocks de poissons](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2023/009
- MPO. 2023c. [Évaluation de la crevette nordique \(*Pandalus borealis*\) dans les zones de pêche de la crevette 4 à 6 en 2021](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2023/038.
- Mullowney, D.R., and Baker, K.D. 2023. [Multi-indicator precautionary approach frameworks for crustacean fisheries](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 80(7): 1207–1220.
- Mullowney, D., Baker, K., Pedersen, E. et Osborne, D. 2018. [Base d'une approche de précaution et d'un cadre décisionnel pour la pêche du crabe des neiges \(*Chionoecetes opilio*\) à Terre-Neuve-et-Labrador](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2018/054. iv + 69 p
- NAFO. 2022. Report of the Scientific Council Meeting. 03-16 June 2022, Halifax, Canada. Serial No. N7322. NAFO SCS Doc. 22/18. 241 p.
- Parsons, D.G., and Tucker, G.E. 1986. Fecundity of northern shrimp, *Pandalus borealis*, (Crustacea, Decapoda) in areas of the Northwest Atlantic. Fish. Bull. 84: 549–558.
- Pedersen, E.J., Skanes, K., le Corre, N., Koen Alonso, M., et Baker, K.D. 2022. [Un nouveau modèle écosystémique spatial de production excédentaire pour la crevette nordique dans les zones de pêche à la crevette 4 à 6](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2022/062. v + 69 p
- Pedersen, S.A., Storm, L., and Simonsen, C.S. 2002. Northern Shrimp (*Pandalus borealis*) Recruitment in West Greenland Waters. Part I. Distribution of *Pandalus* Shrimp Larvae in Relation to Hydrography and Plankton. J. Northwest Atl. Fish. Sci. 30: 19–46.
- Perreault, A.M.J., Rogers, B., Gonzalez-Troncoso, D., Rideout, R., Simpson, M., Dwyer, K., and Varkey, D. 2022. Data review for 3LN Redfish in preparation for an updated management strategy evaluation. Serial No. N7288. NAFO SCR Doc. 22/016. 133 p.
-

-
- Polaczek, H., Atchison, S., Deslauriers, D., Skanes, K., Lacasse, O., Roy, V., and Walkusz, W. 2023. Analysis of Atlantic Cod, Greenland Halibut, Redfish, and Skate Stomach Contents from the 2018 NSRF-DFO Summer Shrimp Survey in Hudson Strait, Davis Strait and Labrador Sea. *Can. Data. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1338: vi + 20 p.
- Richards, R.A., and Hunter, M. 2021. [Northern shrimp *Pandalus borealis* population collapse linked to climate-driven shifts in predator distribution](#). *PLoS ONE*. 16(7): e0253914.
- Shumway, S.E., Perkins, H.C., Schick, D.F., and Stickney, A.P. 1985. Synopsis of biological data on the pink shrimp, *Pandalus borealis* Krøyer, 1838. NOAA Tech. Rep. NMFS 30. 57 p.
- Siferd, T.D. 2015. [2015 Assessment of Northern Shrimp \(*Pandalus borealis*\) and Striped Shrimp \(*Pandalus montagui*\) in the Eastern and Western Assessment Zones \(SFAs Nunavut, Nunavik and Davis Strait\)](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2015/010. v + 70 p.
- Siferd, T., and Legge, G. 2014. [Modifications to the Campelen 1800 Shrimp Survey Trawl](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2014/024. iv + 38 p.
- Silvar-Viladomiu, P., Minto, C., Brophy, D., and Reid, D.G. 2022. [Peterman's productivity method for estimating dynamic reference points in changing ecosystems](#). *ICES J. Mar. Sci.* 79(4): 1034–1047.
- Skanes, K.R., and Evans, G.T. 2005. Testing OGMAP as a Tool for Estimating Biomass and Abundance of Northern Shrimp. Serial No. N5201. NAFO SCR Doc. 05/95. 3 p.
- Squires, H.J. 1996. Decapod crustaceans of Newfoundland, Labrador and the Canadian Eastern Arctic. Fisheries and Oceans Canada.
- Thorson, J.T. 2019. [Guidance for decisions using the Vector Autoregressive Spatio-Temporal \(VAST\) package in stock, ecosystem, habitat and climate assessments](#). *Fish. Res.* 210: 143–161.
- Thorson, J.T., and Kristensen, K. 2016. [Implementing a generic method for bias correction in statistical models using random effects, with spatial and population dynamics examples](#). *Fish. Res.* 175: 66–74.
- Tremblay-Gagnon, F. 2022. Caractérisation du régime alimentaire du flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*) dans l'est de l'Arctique canadien et importance de la crevette nordique (*Pandalus borealis*) en tant que proie. Université du Québec à Rimouski, Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER). 55 p.
- Walsh, S.J., and McCallum, B.R. 1997. Performance of the Campelen 1800 Shrimp Trawl During the 1995 Northwest Atlantic Fisheries Centre Autumn Groundfish Survey. NAFO SCS Doc. 29: 105–116.
- Wieland, K., Storr-Paulsen, M., and Sünksen, K. 2007. Response in Stock Size and Recruitment of Northern Shrimp (*Pandalus borealis*) to Changes in Predator Biomass and Distribution in West Greenland Waters. *J. Northwest Atl. Fish. Sci.* 39: 21–33.
- Wood, S. N. 2017. Generalized additive models: An introduction with R. In 2nd edition. Chapman and Hall/CRC.

6. FIGURES

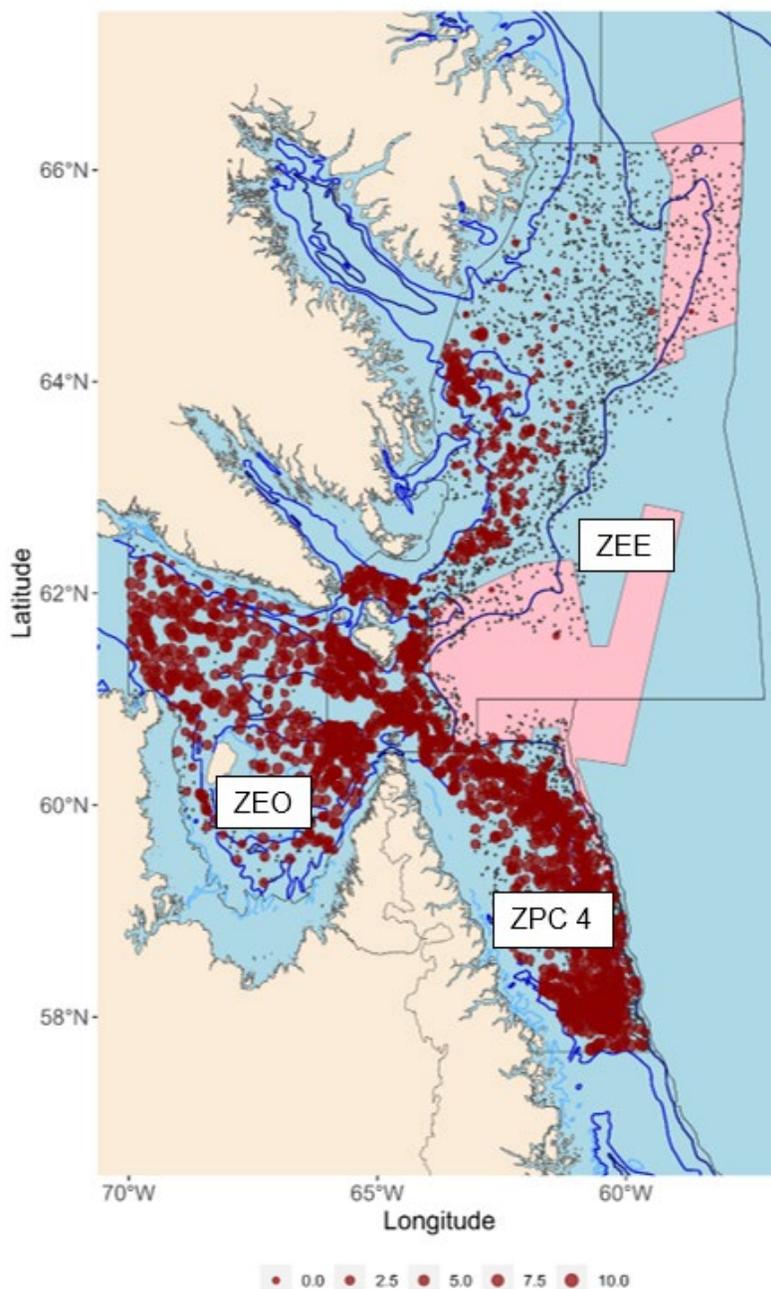


Figure 1. Carte illustrant la zone d'étude et les zones d'évaluation de la crevette : la zone d'évaluation ouest (ZEO), la zone d'évaluation est (ZEE) et la zone de pêche à la crevette (ZPC) 4. Les cercles rouges indiquent les prises enregistrées (kg/km^2) de crevette ésope (*Pandalus montagui*) lors du relevé de la Northern Shrimp Research Foundation (NSRF), de 2005 à 2022. Les polygones roses sont la zone de conservation du bassin Hatton (au sud) et la zone de conservation du détroit de Davis (au nord). Les courbes bathymétriques (100 m, 200 m et 500 m) sont représentées par des lignes continues bleues.

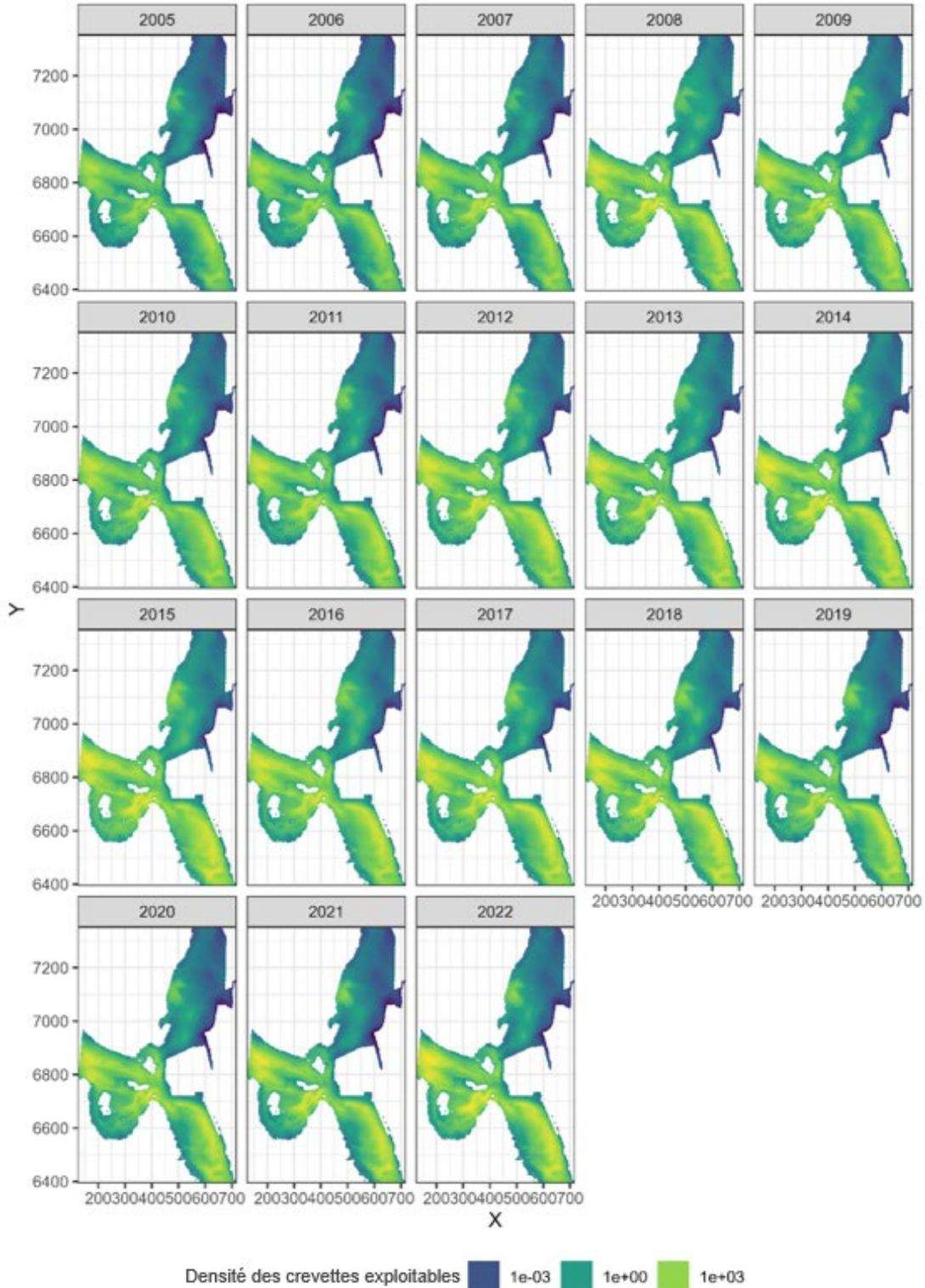


Figure 2. Résultats de la modélisation spatio-temporelle de la densité des crevettes ésope exploitables, selon le relevé de la Northern Shrimp Research Foundation (NSRF), de 2005 à 2022.

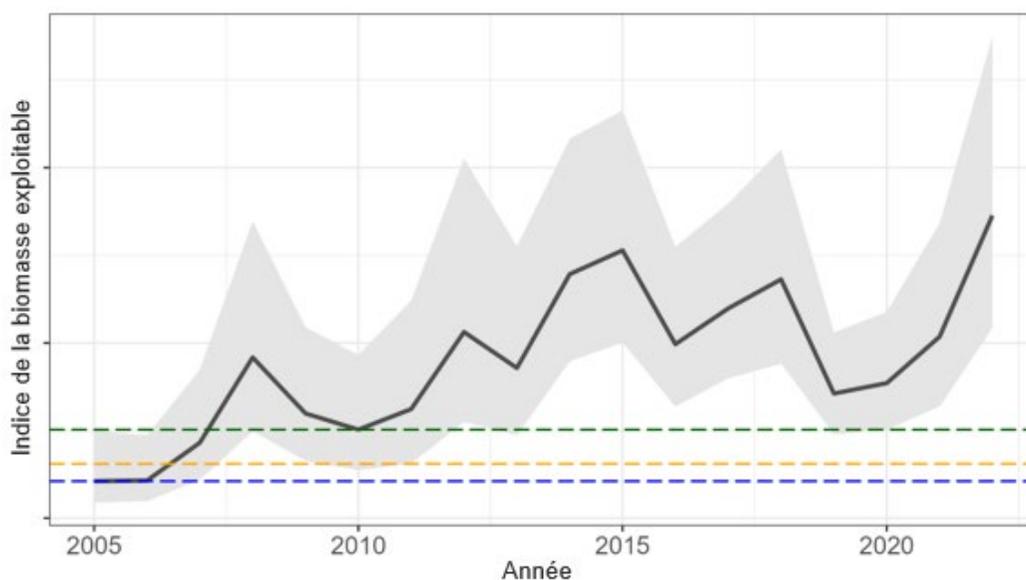


Figure 3. Indice modélisé de la biomasse exploitable de la crevette ésope dans la zone d'évaluation ouest (ZEO), la zone d'évaluation est (ZEE) et la zone de pêche à la crevette (ZPC) 4 combinées (ligne pleine), d'après le relevé de la Northern Shrimp Research Foundation (NSRF), de 2005 à 2022. Le ruban ombré représente l'intervalle de confiance des estimations du modèle. Les lignes tiretées représentent des estimations du PRL basées sur différentes méthodologies : $B_{\text{établissement}}$ (vert), 40 % de la moyenne géométrique de la série chronologique (orange) et B_{perte} (bleu). L'axe des y commence à 0.

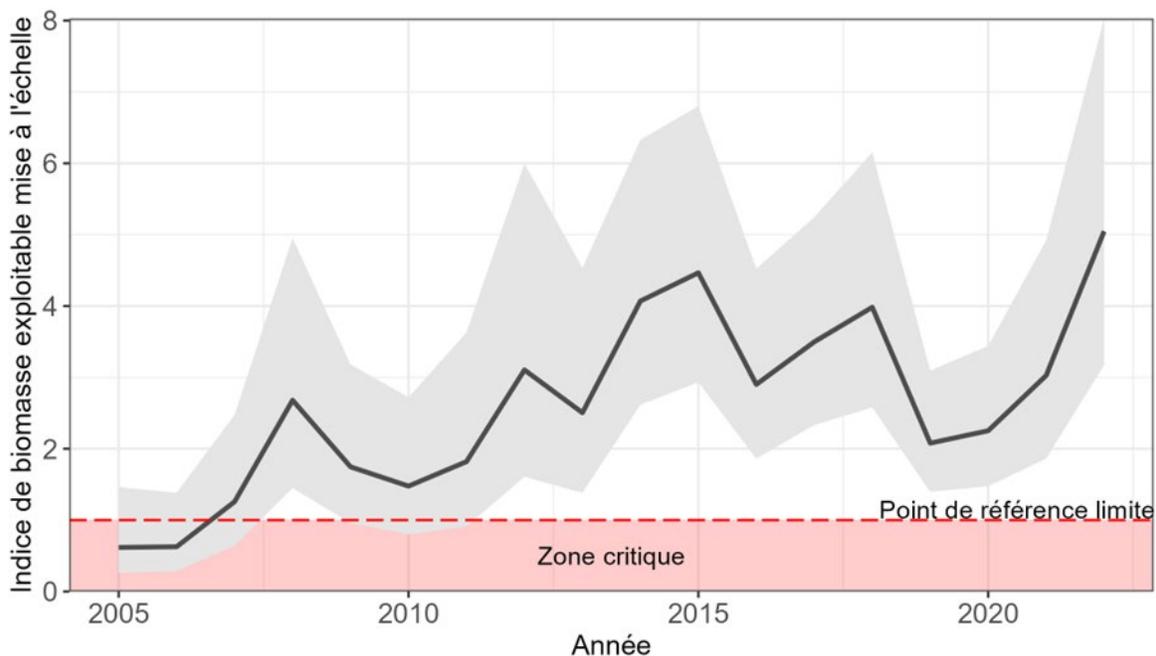


Figure 4. Cadre fondé sur l'approche de précaution pour la crevette ésope de la ZPC 4 : indice modélisé de la biomasse exploitable de la crevette ésope dans la zone d'évaluation ouest (ZEO), la zone d'évaluation est (ZEE) et la zone de pêche à la crevette (ZPC) 4 combinées (ligne pleine) selon le relevé de la Northern Shrimp Research Foundation, de 2005 à 2022, avec des limites de confiance à 95 % (valeurs mises à l'échelle du PRL).

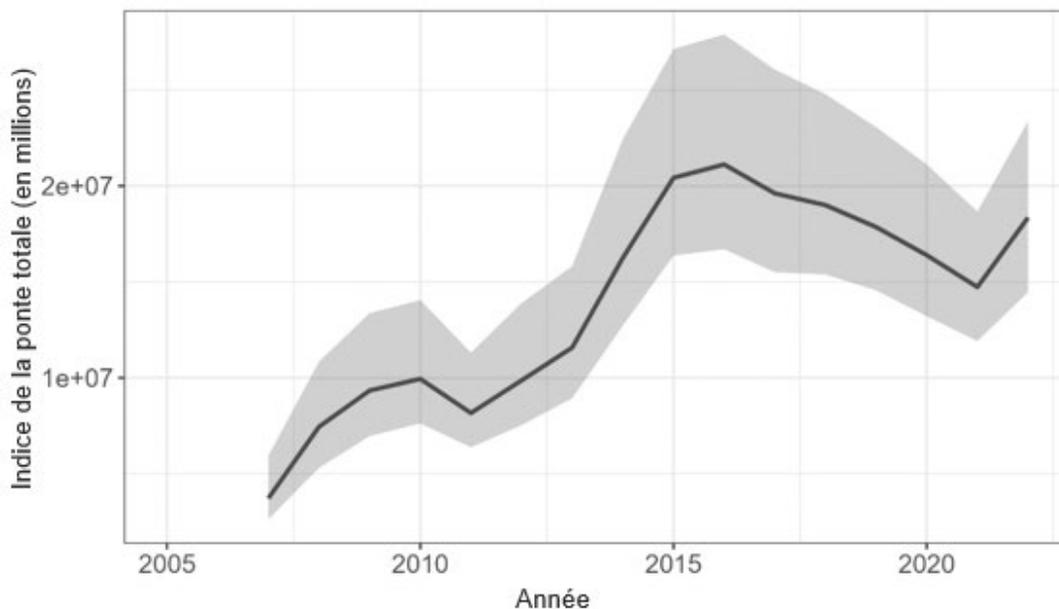


Figure 5. Moyenne mobile sur trois ans de l'indice de la ponte totale modélisé (en millions) de la crevette ésope dans la zone d'évaluation ouest (ZEO), la zone d'évaluation est (ZEE) et la zone de pêche à la crevette (ZPC) 4 combinées selon le relevé de la Northern Shrimp Research Foundation, de 2005 à 2022.

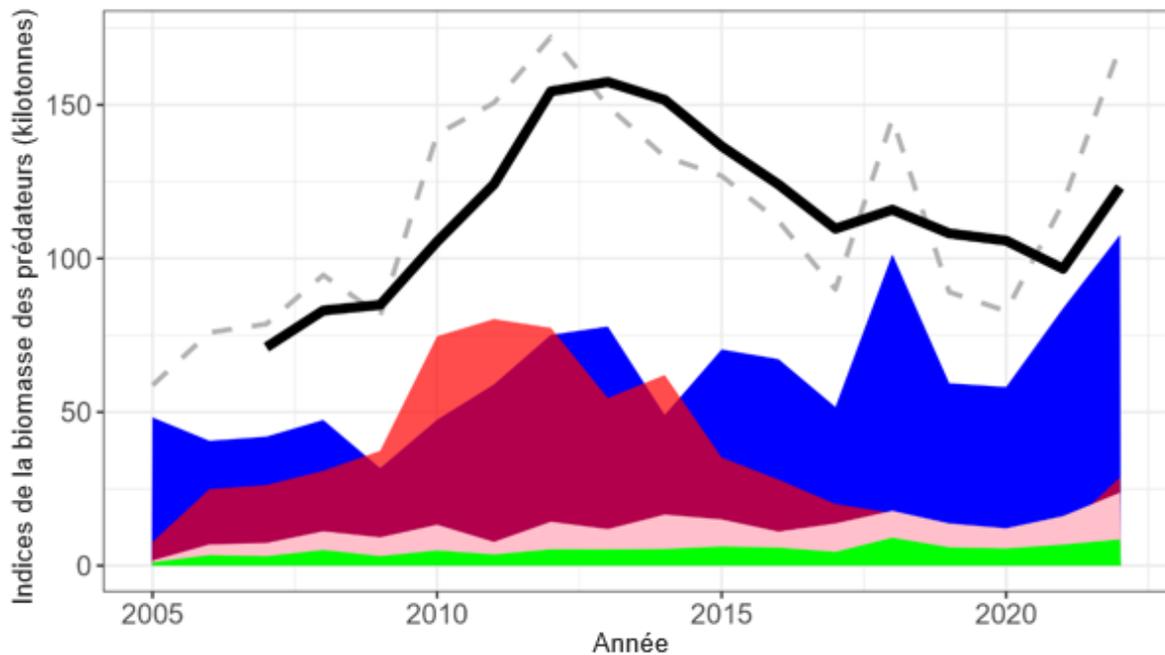


Figure 6. Indices annuels modélisés de la biomasse (en kilotonnes) des prédateurs potentiels (zones ombrées superposées) et moyenne mobile sur trois ans de ces indices (ligne noire). Zone bleue – indice annuel de la biomasse du flétan du Groenland, zone rouge – indice annuel de la biomasse des grands sébastes, zone rose – indice annuel de la biomasse des raies, zone verte – indice annuel de la biomasse des grenadiers.

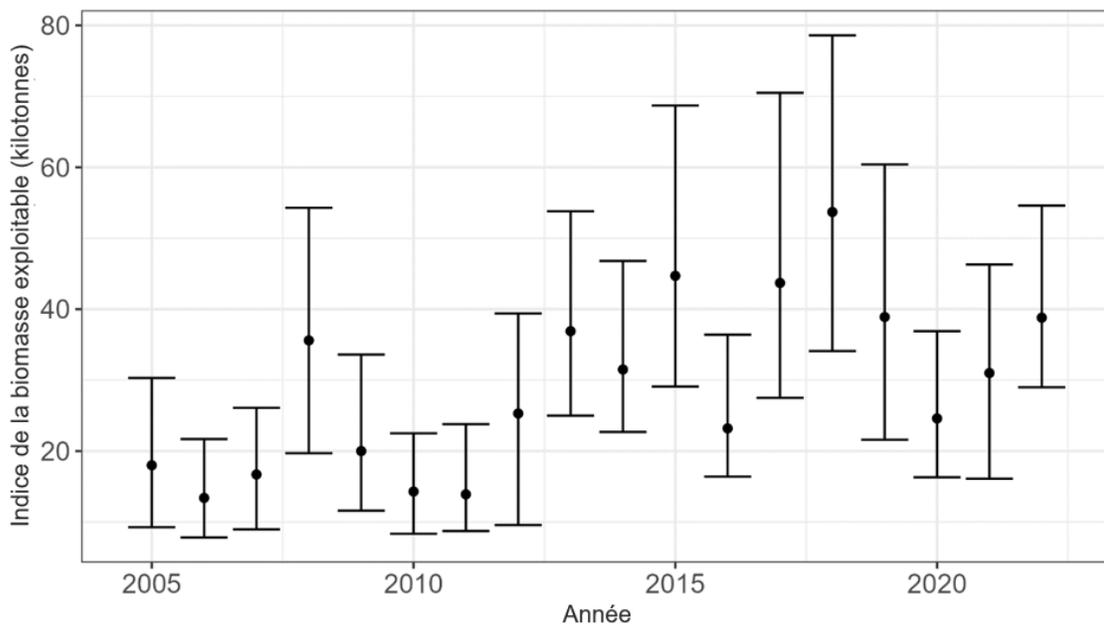


Figure 7. Indice de la biomasse exploitable de la crevette ésope dérivé de la méthode OGMAP dans la zone de pêche à la crevette (ZPC) 4 (points) selon le relevé de la Northern Shrimp Research Foundation (NSRF), de 2005 à 2022. Les barres d'erreur représentent l'intervalle de confiance des estimations.

7. ANNEXE – FIGURES SUPPLEMENTAIRES

Indice de la ponte totale

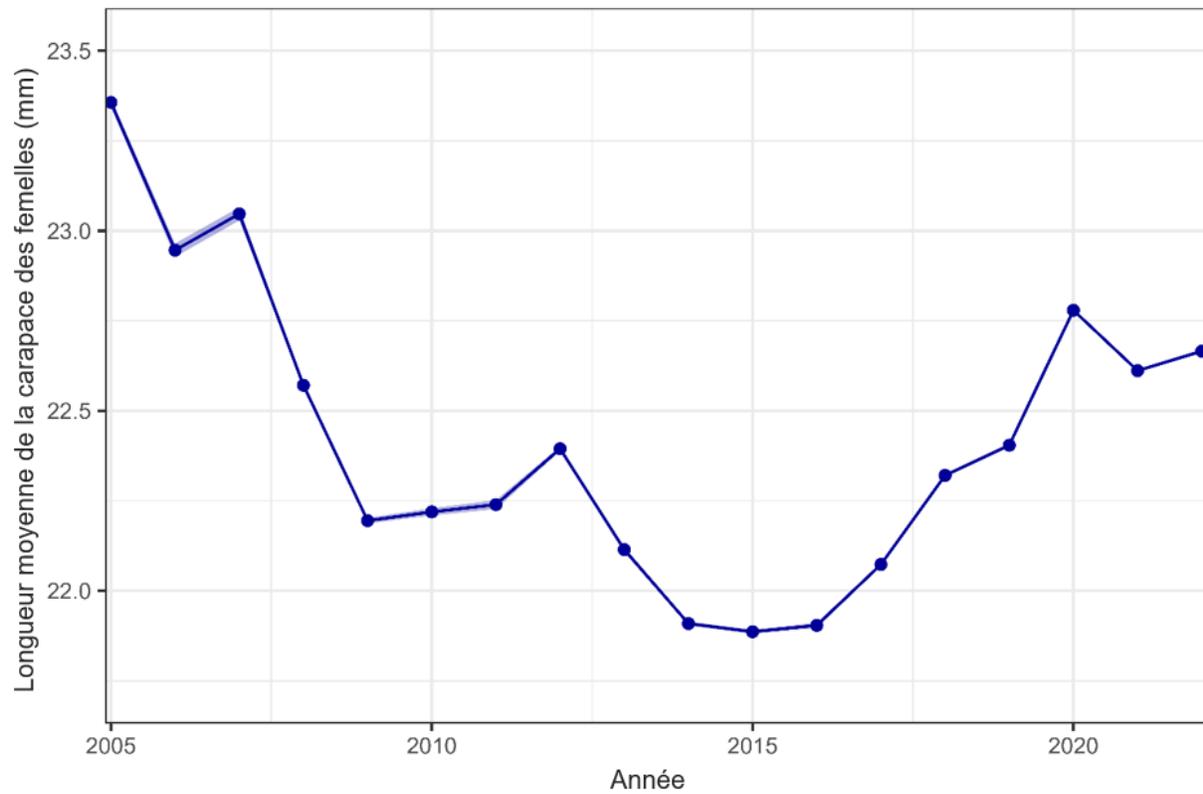


Figure S.1. Longueur moyenne (mm) de la carapace des crevettes ésoques femelles selon le relevé de la Northern Shrimp Research Foundation (NSRF), de 2005 à 2022.

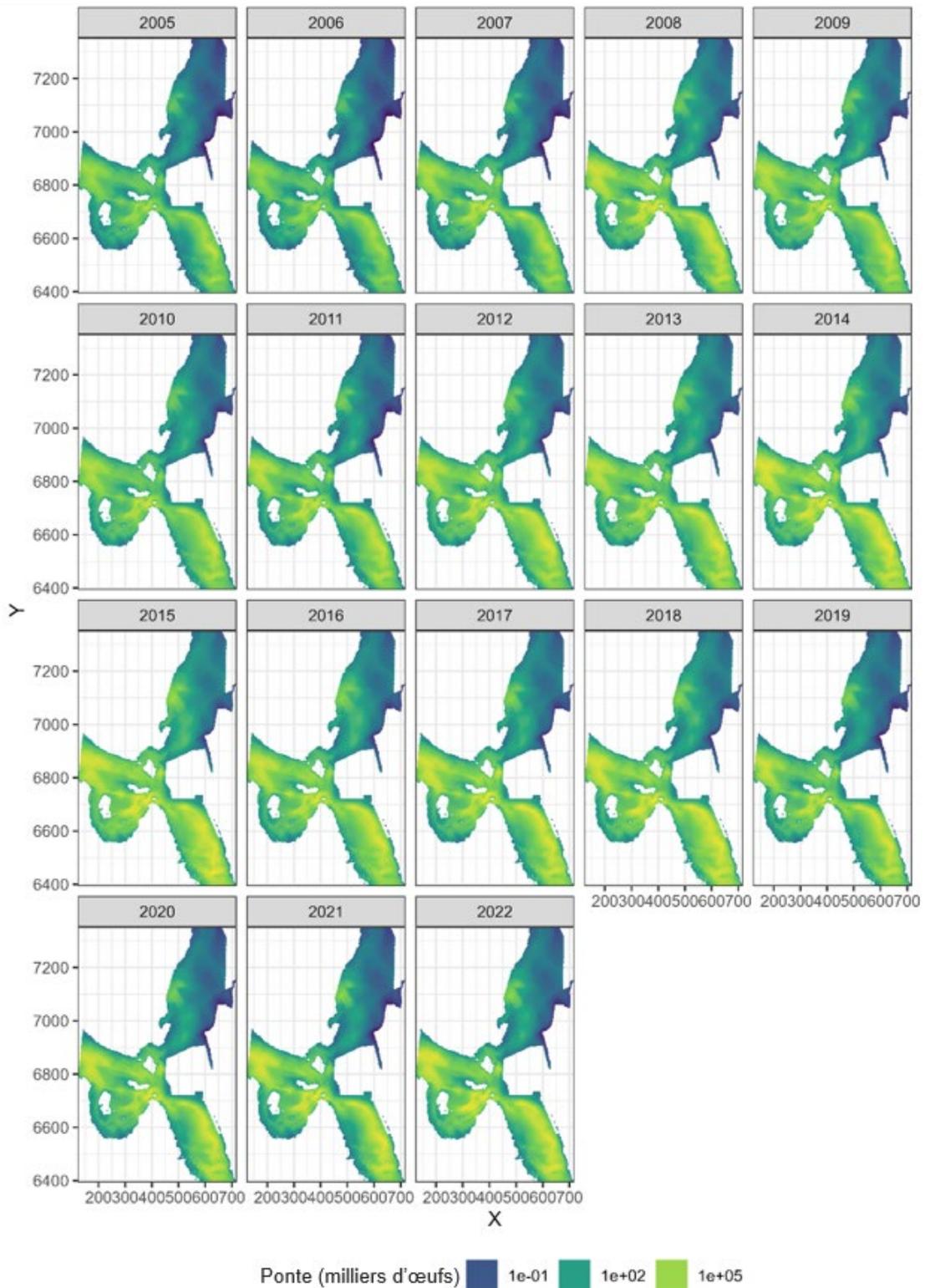


Figure S.2. Résultats de la modélisation spatio-temporelle de la ponte prévue de la crevette ésope selon le relevé de la Northern Shrimp Research Foundation (NSRF), de 2005 à 2022.

Indice des prédateurs potentiels

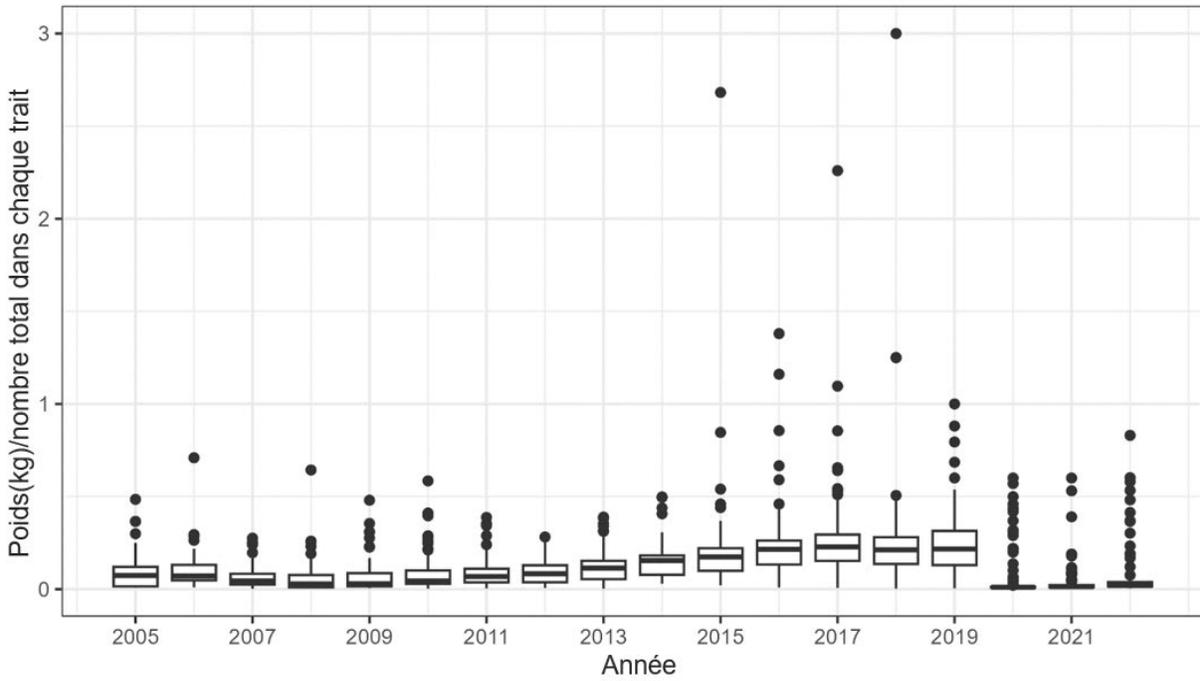


Figure S.3. Le poids/nombre total de sébastes provenant de traits de chalut contenant des sébastes dans le relevé de la Northern Shrimp Research Foundation (NSRF), de 2005 à 2022.

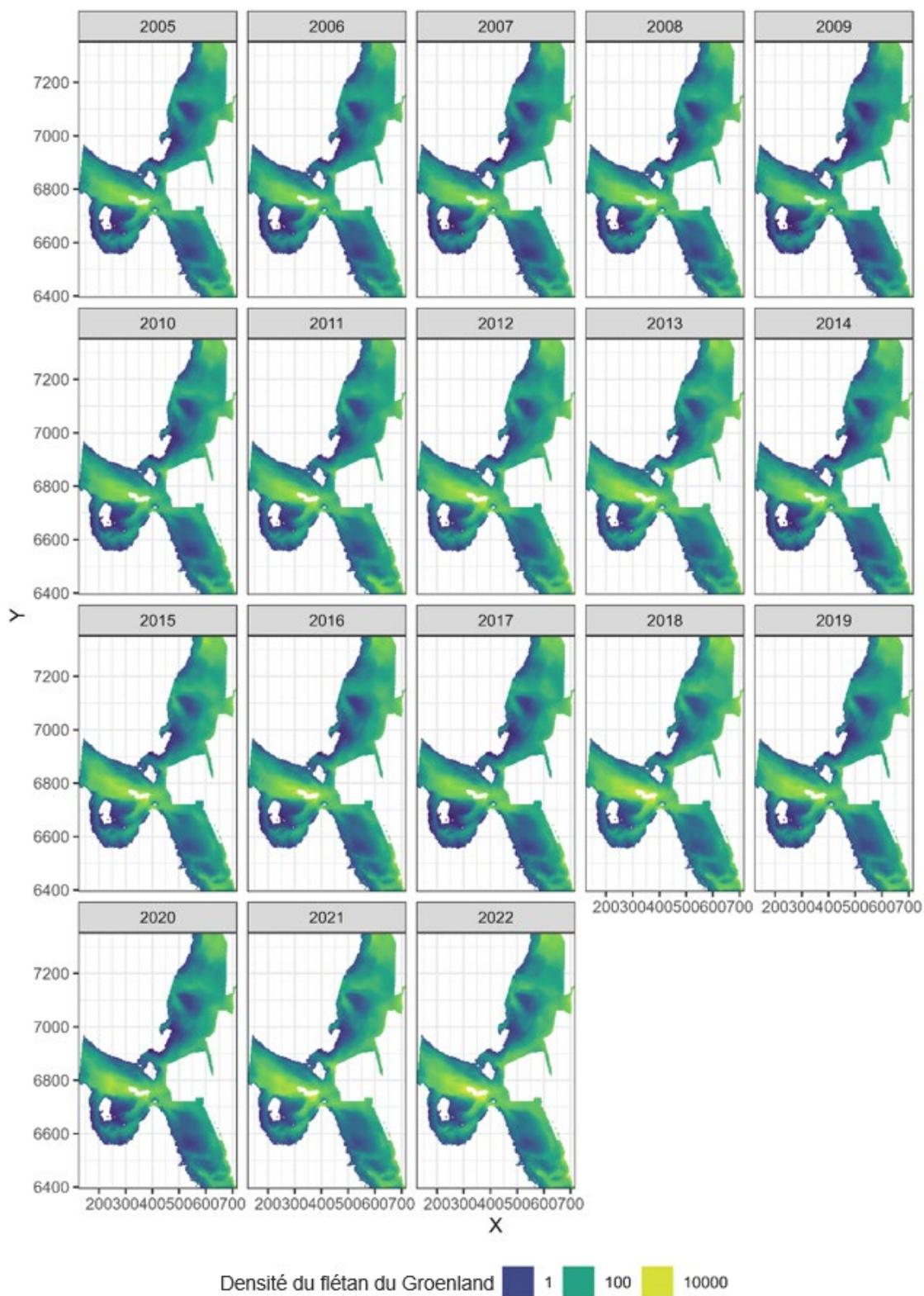


Figure S.4. Résultats de la modélisation spatio-temporelle de la densité du flétan du Groenland (kg/km^2), selon le relevé de la Northern Shrimp Research Foundation (NSRF), de 2005 à 2022.

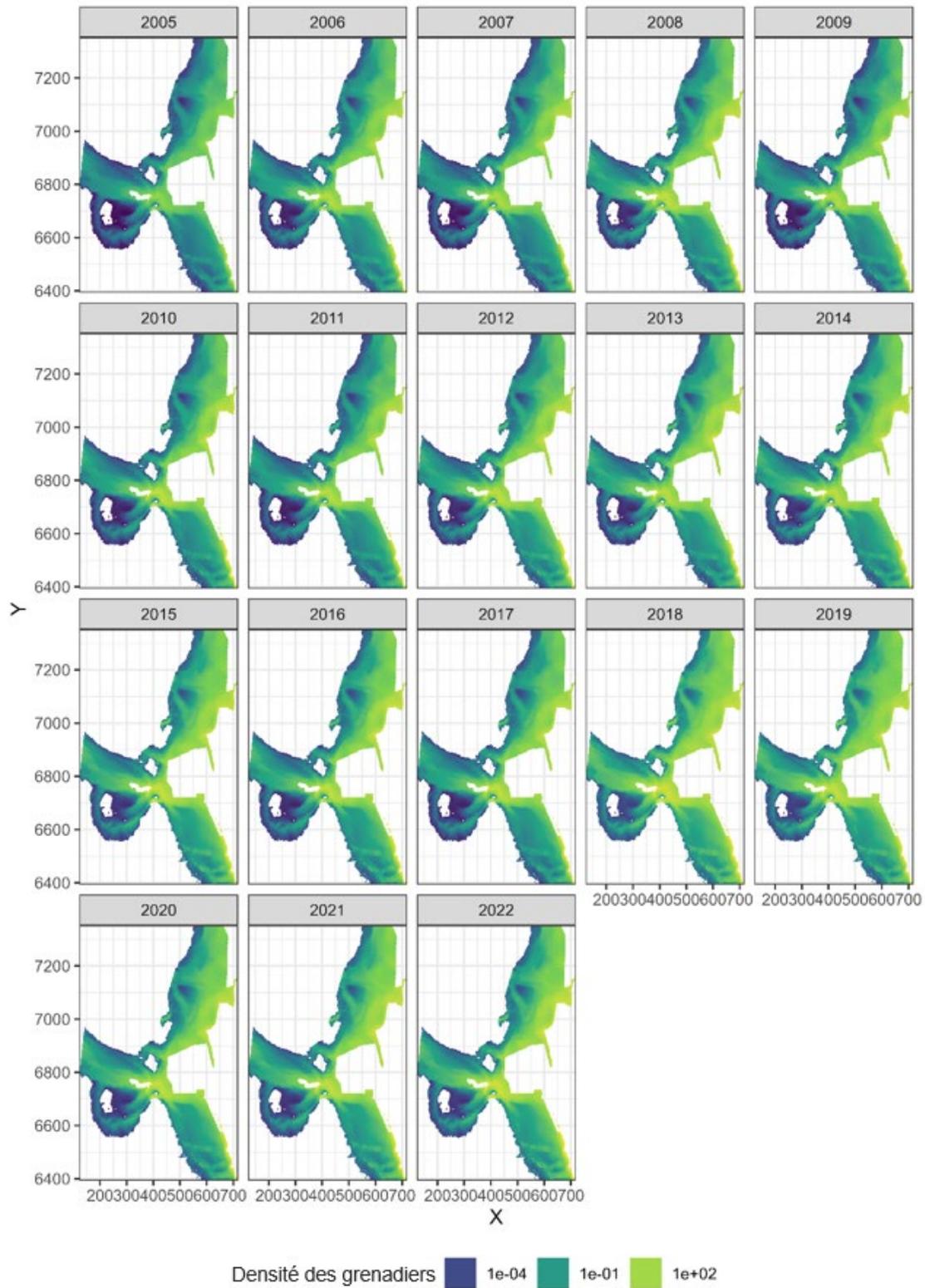


Figure S.5. Résultats de la modélisation spatio-temporelle de la densité des grenadiers (kg/km^2), selon le relevé de la Northern Shrimp Research Foundation (NSRF), de 2005 à 2022.

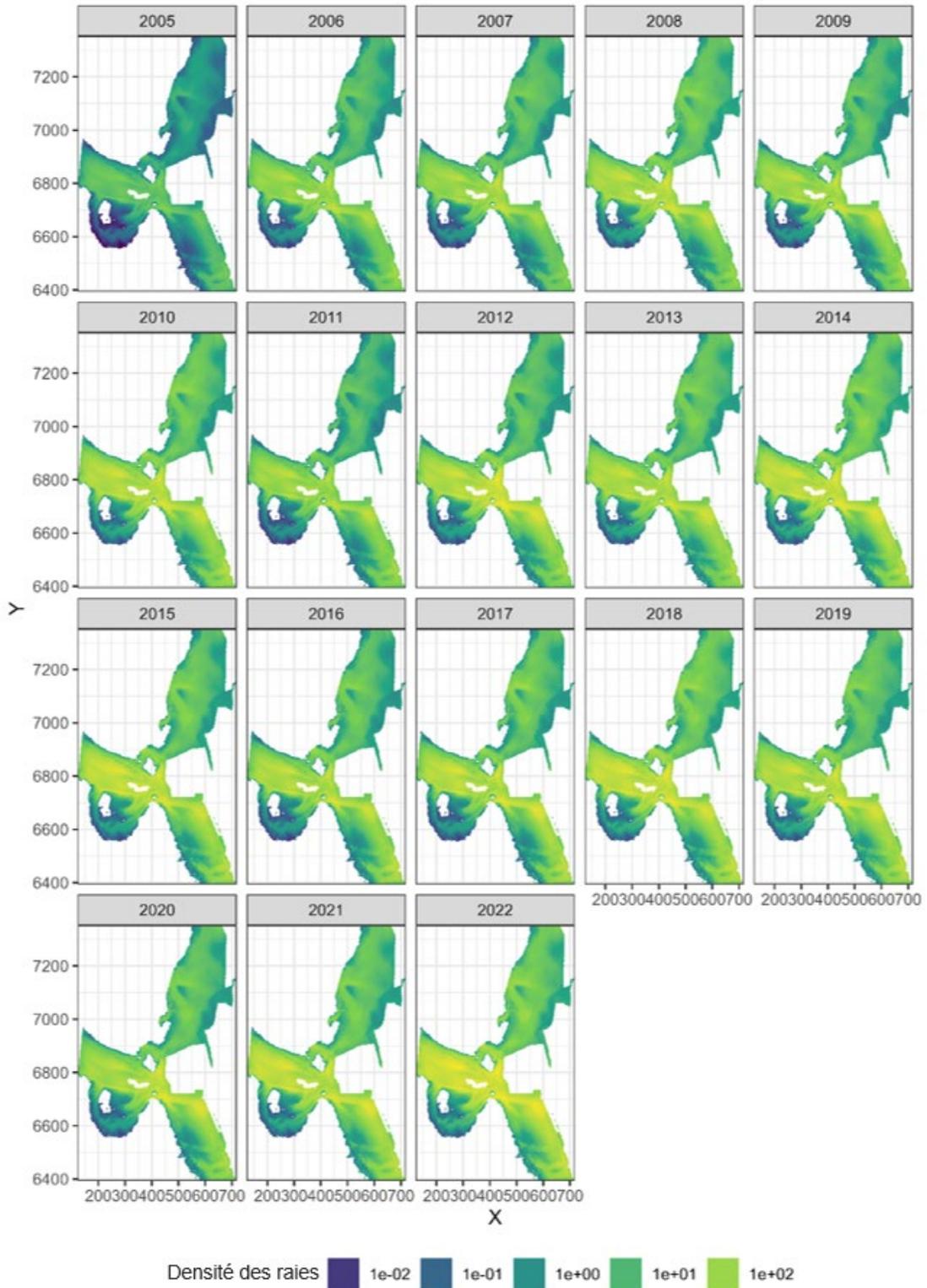


Figure S.6. Résultats de la modélisation spatio-temporelle de la densité des raies (kg/km^2), selon le relevé de la Northern Shrimp Research Foundation (NSRF), de 2005 à 2022.

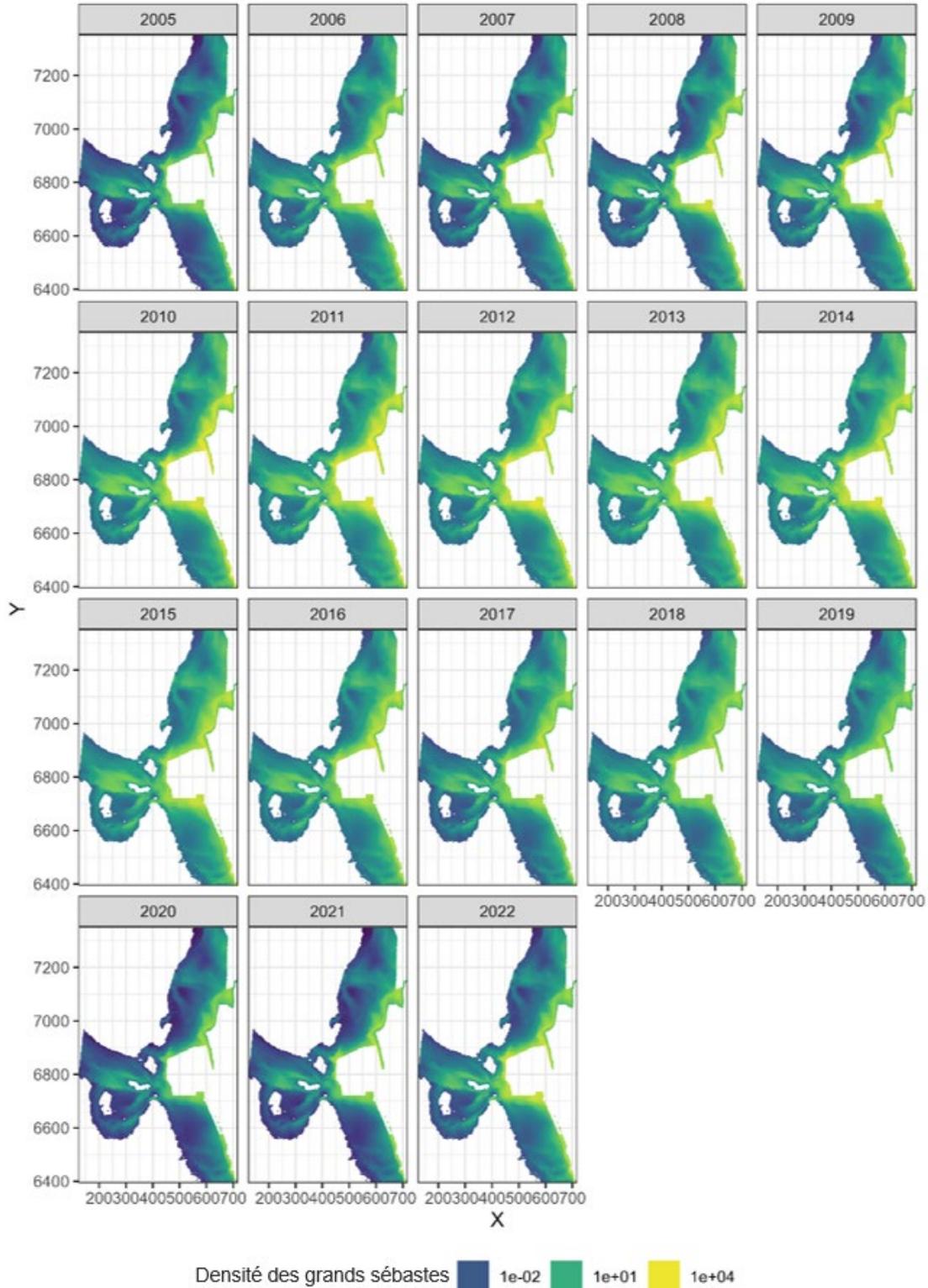


Figure S.7. Résultats de la modélisation spatio-temporelle de la densité des grands sébastes (kg/km^2), selon le relevé de la Northern Shrimp Research Foundation (NSRF), de 2005 à 2022.