



Pêches et Océans  
Canada

Fisheries and Oceans  
Canada

Sciences des écosystèmes  
et des océans

Ecosystems and  
Oceans Science

## **Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)**

---

**Document de recherche 2021/048**

**Région des Maritimes**

### **Évaluation du crabe des neiges du plateau néo-écossais en 2018**

B.M. Zisseron, B.J. Cameron, A.C. Glass et J.S. Choi

Pêches et Océans Canada  
Division de l'écologie des populations  
Institut océanographique de Bedford  
C.P. 1006, 1, promenade Challenger  
Dartmouth (Nouvelle-Écosse) B2Y 4A2

---

## 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 de consultation scientifique  
200, rue Kent  
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

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



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2021

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-39220-2 N° cat. Fs70-5/2021-048F-PDF

### La présente publication doit être citée comme suit :

Zisserson, B.M., Cameron, B.J., Glass, A.C., et Choi, J.S. 2021. Évaluation du crabe des neiges du plateau néo-écossais en 2018. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/048. x + 157 p.

### *Also available in English :*

*Zisserson, B.M., Cameron, B.J., Glass, A.C., et Choi, J.S. 2021. Assessment of Scotian Shelf Snow Crab in 2018. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. Res. Doc. 2021/048. ix + 148 p.*

---

---

## TABLE DES MATIÈRES

GLOSSAIRE .....	V
RÉSUMÉ.....	IX
GESTION.....	1
HISTORIQUE.....	2
MÉTHODES.....	3
DONNÉES SUR LES PÊCHES .....	4
DONNÉES DES RELEVÉS DE RECHERCHE.....	4
MODÈLES SPATIO-TEMPORELS .....	7
PRÉDATION .....	8
MODÈLE D'ÉVALUATION DES STOCKS.....	8
INDICATEURS ÉCOSYSTÉMIQUES .....	8
CYCLE BIOLOGIQUE .....	9
CONTEXTE ÉCOSYSTÉMIQUE .....	10
APERÇU .....	10
CONNECTIVITÉ .....	11
Dispersion larvaire .....	11
Déplacement.....	12
INFLUENCES ENVIRONNEMENTALES (HABITAT).....	16
INFLUENCES DESCENDANTES (PRÉDATION) .....	17
INFLUENCES ASCENDANTES (LIMITATION DES RESSOURCES) .....	19
INFLUENCES LATÉRALES (CONCURRENCE).....	19
MALADIES.....	20
INFLUENCES ANTHROPIQUES.....	21
Prises accessoires de crabe des neiges dans d'autres pêches.....	21
Prises accessoires d'autres espèces dans la pêche du crabe des neiges .....	22
Exploration et exploitation pétrolières et gazières.....	22
Câbles sous-marins .....	23
Indicateurs socioéconomiques.....	24
Zones de protection marine .....	24
PÊCHE.....	25
Effort.....	25
Débarquements.....	26
Taux de prise .....	27
Présence d'observateurs en mer .....	28
Condition de la carapace des prises et crabes à carapace molle.....	28
Vieux crabe (CC5).....	29
ÉTAT DE LA RESSOURCE.....	30
STRUCTURE SELON LA TAILLE .....	30

---

Mâles.....	30
Femelle .....	30
SEX-RATIOS .....	31
ABONDANCE NUMÉRIQUE DES FEMELLES .....	32
COMPOSANTE EXPLOITABLE DE LA POPULATION.....	32
RECRUTEMENT.....	33
MODÈLE D'ÉVALUATION DES STOCKS.....	33
BIOMASSE EXPLOITABLE .....	34
MORTALITÉ PAR PÊCHE.....	34
MORTALITÉ NATURELLE .....	34
APPROCHE DE PRÉCAUTION .....	35
POINTS DE RÉFÉRENCE ET RÈGLES DE CONTRÔLE DES PRISES.....	35
Limites actuelles des points de référence .....	36
RECOMMANDATIONS.....	37
REMARQUES GÉNÉRALES .....	37
NORD-EST DE LA NOUVELLE-ÉCOSSE.....	39
SUD-EST DE LA NOUVELLE-ÉCOSSE.....	40
4X.....	40
REMERCIEMENTS .....	40
RÉFÉRENCES CITÉES .....	40
TABLEAUX .....	47
FIGURES .....	57
ANNEXES.....	137
ANNEXE 1 : MODÈLES DE VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELS .....	137
Introduction .....	137
Représentation continue .....	137
Modèles spatio-temporels de variabilité (stmv).....	143
L'évaluation du crabe des neiges.....	145
ANNEXE 2 : CONTEXTE DE L'APPROCHE DE PRÉCAUTION .....	149
Durabilité.....	149
Points de référence .....	151
ANNEXE 3 : MODÈLE D'ÉVALUATION DES STOCKS.....	153

---

## GLOSSAIRE

**Agonistique** — Terme relatif aux comportements d'agression, d'apaisement et d'évitement qui se produisent entre les membres d'une même espèce. Le terme « comportement agonistique » est beaucoup plus large qu'« agressivité », qui fait simplement référence à des types de comportements qui servent à intimider ou à endommager un autre organisme.

**Anthropique** — Résultat de l'influence de l'homme sur la nature.

**Approche de précaution** – Dans le contexte de la gestion des ressources, les approches de gestion qui visent à ne pas mettre en péril la durabilité à long terme d'une ressource, ainsi que de son écosystème.

**Benthique** — Qui se trouve sur le plancher océanique.

**Biomasse** – L'abondance d'organismes vivants mesurée en termes de poids, de masse, de volume ou d'énergie calorique.

**Biomasse commerciale** — voir Biomasse exploitable.

**Biomasse exploitable** – La biomasse du crabe des neiges exploitée par la pêche commerciale : mâle, adulte, largeur de carapace égale ou supérieure à 95 mm et condition de carapace dure (CC2 à CC5). Il est à noter que le crabe des neiges de catégorie CC2 n'a pas un rendement optimal en chair au moment de la pêche. Bien que le crabe immature ayant une largeur de carapace égale ou supérieure à 95 mm fasse partie de la biomasse qui peut être pêchée légalement, cette composante est volontairement remise à la mer pour permettre une plus grande croissance.

**Biomasse du stock reproducteur** — Biomasse des membres d'un stock capables de contribuer à la propagation future du stock, généralement considérée comme la biomasse des femelles adultes.

**Brachyoure** — Infra-ordre dont font partie ce que l'on appelle les « vrais crabes », y compris le crabe des neiges. Les brachyoures se caractérisent par un corps court, large et plat. L'abdomen est réduit d'un muscle nageur fort (p. ex. crevette) à un simple rabat recouvrant les appendices reproducteurs et portant des œufs. Les uropodes, qui avec le telon forment l'éventail caudal des autres décapodes, sont totalement absents. Les cinq paires de pattes locomotrices sont généralement grandes, la première paire étant les chélicèdes. Les antennes et les antennules sont fortement réduites et prennent naissance avant les pédoncules oculaires.

**Capacité de charge (K)** — Taille maximale de la population de l'espèce que peut supporter l'environnement indéfiniment.

**Capture par unité d'effort (CPUE)** — Volume capturé lors d'un seul événement de pêche, comme le poids ou le nombre de crabes capturés par un seul casier levé.

**Carapace molle** — État de la carapace dans lequel la carapace produit une lecture inférieure à 68 unités de duromètre.

**Chélicède** — Patte de crustacé ou d'araignée portant une griffe en forme de pince.

**Condition de carapace (CC)** — État de la carapace d'un crabe des neiges. Généralement liée à l'âge de l'organisme et au temps écoulé depuis la dernière mue. Le tableau 5 contient des précisions à ce sujet.

- **CC1** – Crabe fraîchement mué. Le dessus de la carapace est brun clair et brillant, sans croissance en surface de mousse ni d'anatifes. La carapace est molle et la pince se casse facilement.

- 
- **CC2** – Le dessus de la carapace est brun pâle et moins brillant, avec peu ou pas de croissance en surface de mousse ou d’anatifes. La carapace est propre, mais dure.
  - **CC3** – Le dessus de la carapace est brun clair et non brillant. Il y a une certaine croissance de mousse ou d’anatifes. La carapace est dure.
  - **CC4** – Le dessus de la carapace est brun et non brillant. Habituellement, il y a une certaine croissance en surface de mousse ou d’anatifes. La carapace est dure et porte de petites cicatrices. Le dessous est brun-jaune.
  - **CC5** – Vieux crabe. La carapace est brun foncé avec une surface substantiellement moussue (« sale »). Une décalcification (taches noires) est souvent visible au niveau des articulations. La carapace peut être molle.

**Coûts métaboliques** — Quantité d’énergie distribuée par un organisme au cours de sa vie (p. ex. chaleur, composés organiques, matières fécales, urée/acide urique).

**Crabe à pinces atrophiées** — Crabe immature qui est légalement exploitable ( $LC \geq 95$  mm), mais qui n’a pas encore subi sa dernière mue. On estime que l’incrément de croissance final augmentera le poids corporel d’environ 250%.

**Crabe blanc** — Désigne le crabe ayant mué récemment, surtout ceux ayant une condition de carapace (CC) 1 ou 2. Ces crabes ne sont pas recherchés sur le plan commercial en raison de leur faible rendement en chair.

**Densité** — Quantité (biomasse ou nombre) de crabes par unité de surface.

**Densité numérique** — Nombre de crabes des neiges sur une superficie donnée.

**Dernière mue** — Crabe des neiges ayant mué pour la dernière fois après sa maturité. La taille de ces crabes n’augmentera pas davantage.

**Distribution (spatiale)** — Zone géographique dans laquelle un organisme existe.

**Dynamique** — Caractérisé par une période ou un changement continu. Qui n’est pas fixe.

**Duromètre** — Instrument calibré utilisé pour mesurer la dureté d’un objet (comme une carapace de crabe), gradué de 0 (souple) à 100 (dur). Traditionnellement, on utilise une lecture du duromètre de  $\geq 68$  pour déterminer qu’un crabe a une carapace dure.

**Dimorphisme sexuel** – Quand il existe des différences de forme et de taille entre les sexes d’une espèce.

**Écosystème** — Ensemble d’un système avec toutes les interactions entre les parties, vivantes et non vivantes.

**Écosystème du plateau néo-écossais (EPN)** — Environnement marin qui s’étend (à la fois au sud et à l’est) à partir de la masse terrestre de la Nouvelle-Écosse, à la bordure du plateau continental. Cet environnement comprend les divisions 4VW de l’OPANO et la partie est de la division 4X.

**Est de la Nouvelle-Écosse** — Essentiellement les divisions statistiques 4VW de l’Organisation des pêches de l’Atlantique Nord-Ouest (OPANO).

**Étiquette acoustique** — Dispositif apposé à la carapace du crabe des neiges pour permettre le suivi des déplacements de l’animal à l’aide de récepteurs acoustiques. Chaque étiquette émet une signature acoustique unique. Cette méthode d’étiquetage n’exige pas la recapture de l’animal pour les études de déplacement.

---

**Étiquette spaghetti** — Étiquette traditionnelle de marquage-recapture qui est placée autour de la carapace d'un crabe des neiges entre ses pattes locomotrices. Composée d'une bande de polymère, d'un disque contenant une identification unique et d'une attache. Exige que la recapture de l'animal étiqueté et la déclaration subséquente soient utilisées dans les études sur les déplacements.

**Extrapoler** — Déduire ou estimer en élargissant ou en projetant l'information connue.

**Gains métaboliques** — Quantité d'énergie gagnée grâce à la consommation d'aliments ou d'autres sources d'énergie.

**Stade** — Période entre deux mues (c.-à-d. pendant la phase à carapace dure).

**Interpolation** — Méthode permettant de déterminer des valeurs inconnues en utilisant les valeurs connues environnantes.

**Krigeage** — Méthode d'interpolation permettant d'obtenir des estimations statistiquement non biaisées de variables intrinsèques (c.-à-d. la densité de la biomasse du crabe des neiges) à partir d'un ensemble de points voisins ayant des valeurs connues, limitées par le changement relatif de la variabilité des données en fonction de la distance.

**Largeur de carapace (LC)** — Distance de part et d'autre de la carapace d'un crabe des neiges (en millimètres).

**Larve** – Forme précoce et immature de tout animal avant qu'il prenne sa forme adulte.

**Maladie du crabe amer (MAC)** — Maladie mortelle causée par un dinoflagellé du genre *Hematodinium*, un parasite qui habite le sang de l'organisme hôte, qui touche de nombreuses espèces de crustacés dans le monde.

**Maturité morphométrique** — État de maturité déterminé à partir de mesures de taille et de forme du corps. La hauteur des pinces des crabes des neiges mâles augmente très rapidement au stade adulte (dernière mue), tandis que la largeur abdominale des femelles augmente avec la maturité. Bien que la maturité morphométrique générale coïncide avec la maturité physiologique, les mâles immatures sur le plan morphométrique sont reconnus pour être capables de féconder les femelles.

**Maturité physiologique** — Biologiquement (fonctionnellement) capable de se reproduire (même si un crabe n'a pas encore subi sa dernière mue).

**Mortalité par pêche (instantanée; F)** — Taux exponentiel de mortalité des organismes.

**Mortalité par pêche (relative)** — Voir Taux d'exploitation.

**Modèle additif généralisé (MAG)** — Méthode statistique utilisée pour modéliser et prédire les valeurs d'une variable d'intérêt (p. ex. la biomasse) en fonction des fonctions non paramétriques des variables dépendantes (p. ex. la température, la profondeur, la taille des grains du substrat).

**Mue** — Pour un organisme, le fait de grandir en se débarrassant de sa carapace actuelle.

**Multipare** — Crabes femelles portant des œufs à la suite de leur deuxième ou troisième événement de reproduction (accouplement).

**Pélagique** — Présence dans la colonne d'eau (pas sur le fond).

**Points de référence biologiques** – Dans le contexte de l'approche de précaution, les niveaux convenus d'un indicateur qui sont considérés comme étant liés à une population ou à un stock en bonne ou en mauvaise santé.

---

**Primipare** — Crabes femelles portant des œufs à la suite de leur premier événement de reproduction (accouplement).

**Quota individuel de bateau** — Quantité de crabes des neiges qu'un pêcheur peut légalement prélever dans une zone donnée au cours d'une période donnée.

**Quota individuel transférable** — Quantité de crabes des neiges qu'un pêcheur peut légalement prélever dans une zone donnée au cours d'une période donnée. Cette allocation de quota peut être transférée à un autre pêcheur pour qu'il puisse la capturer.

**Organisation des pêches de l'Atlantique Nord (OPANO)** — Organisation intergouvernementale ayant pour mandat de fournir des avis scientifiques et de gérer les [pêches](#) dans la partie nord-ouest de l'[océan Atlantique](#).

**Recrutement** – Le crabe des neiges qui devrait entrer dans la biomasse exploitable au cours de la prochaine saison de pêche est désigné comme « R-1 ».

**Règles de contrôle des prises (RCP)** — Méthode prédéterminée pour relier les points de référence biologiques et les points de référence fondés sur l'exploitation dans le cadre de l'approche de précaution aux mesures de gestion.

**Spatial** — Relatif à l'espace (p. ex. une région géographique donnée comme le plateau néo-écossais).

**Substrat** — Type de fond sur lequel vit un animal (roches, rochers, boue, sable, etc.).

**Taux d'exploitation (TE)** — Rapport de la biomasse pêchée par rapport à la biomasse exploitable, où  $TE = 1 - e^{(-F)}$ .

**Temporel** — Relatif au temps (tel qu'une période donnée).

**Total autorisé des captures (TAC)** — Quantité de crabes des neiges qu'il est permis de prélever légalement dans une zone donnée au cours d'une période donnée.

**Zone de pêche du crabe (ZPC)** — Désigne une zone de gestion individuelle. Sur le plateau néo-écossais, les ZPC vont du nord au sud : de 20 à 24 et 4X.

---

## RÉSUMÉ

En 2018, les débarquements de crabe des neiges (*Chionoecetes opilio*) dans le nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse ont atteint respectivement 742 t et 6 064 t, et 55 t dans la zone de pêche du crabe (ZPC) 4X pour la saison 2016–2017, soit une diminution de 9 % (nord-est), de 10 % (sud-est) et de 31 % (4X) par rapport à l'année précédente. Les totaux autorisés de captures de 2018 étaient de 786 t, 6 057 t et 110 t dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse, le sud-est de la Nouvelle-Écosse et la ZPC 4X, respectivement. Le TAC n'a pas été atteint dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse ni dans la ZPC 4X. En 2018, les taux de prise non normalisés étaient de 62 kg/casier levé dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse, de 116 kg/casier levé dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse et de 12 kg/casier levé dans la ZPC 4X en 2017-2018, ce qui représente une diminution de 31% (nord-est), une augmentation de 23 % (sud-est) et une diminution de 52 % (4X) par rapport à l'année précédente. Le taux de capture de crabes à carapace molle dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse est passé d'environ 5 % en 2017 à 25 %, presque exclusivement pendant la pêche estivale. Dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, la présence relative de crabes à carapace molle était de 1,6 % pour la saison 2018. Les taux de rejet de crabes à carapace molle dans la ZPC 4X demeurent très bas, en raison du moment de la saison de pêche. Les prises accessoires d'espèces non ciblées sont très faibles (moins de 0,4 %) dans toutes les ZPC. Tant dans le nord-est que dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, on s'attend à un recrutement interne modéré dans la pêche au cours de la prochaine année (et probablement pendant trois ou quatre ans), d'après les histogrammes de taille et de fréquence. Dans la ZPC 4X, il semble y avoir un potentiel limité de recrutement interne (faible nombre de crabes de taille inférieure à la taille réglementaire) et externe (immigration en provenance des zones voisines) pour la pêche. Depuis 2016, il y a eu un recrutement important de crabes femelles dans le segment mature de la population de toutes les ZPC. Les avantages potentiels pour la population du recrutement et de la maturation des deux sexes sont tempérés par un certain nombre d'incertitudes, notamment l'influence de la prédation et des changements de température (en particulier dans la ZPC 4X et certaines parties de la ZPC 24). La prédation par le flétan atlantique est une source potentiellement importante et croissante de mortalité naturelle pour le crabe des neiges du plateau néo-écossais. Les résultats de l'approche de modélisation actuelle (stmv) produisent des estimations d'abondance avec une très faible variabilité interannuelle, en particulier dans le nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse. Cette hyperstabilité est incongrue avec les tendances en matière d'abondance temporelle observées dans la moyenne géométrique des densités selon les relevés, les fréquences de longueur, les taux de capture, etc. Cette disparité par rapport aux autres données indique qu'il faut faire preuve de prudence lorsqu'on utilise les estimations modélisées de la biomasse et de la mortalité par pêche. L'indice de la biomasse exploitable modélisée du crabe des neiges après la saison de pêche dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse était estimé à 3 203 t, contre 3 358 t en 2017. Dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, l'indice de la biomasse exploitable après la saison de pêche était de 33 190 t, par rapport à 32 040 t en 2017. Dans la ZPC 4X, la biomasse exploitable modélisée avant la saison de pêche était de 403 t, par rapport à 354 t en 2017. L'estimation de la mortalité par pêche ( $F$ ) dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse pour 2018 est de 0,24, soit une augmentation par rapport à celle de 0,17 enregistrée en 2017. L'estimation de  $F$  dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse pour 2018 est de 0,22, en baisse par rapport à 0,26 en 2017. L'estimation de  $F$  dans la ZPC 4X pour 2017–2018 est de 0,23 (taux d'exploitation de 0,21), soit une diminution par rapport à 0,26 en 2016–2017. Dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse, les prélèvements par la pêche au cours des deux dernières saisons semblent avoir été fondés sur une stratégie de pêche trop agressive, les taux de capture ayant diminué et le TAC de 2018 n'ayant pas été atteint. Une approche plus prudente dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse pourrait stabiliser les taux de prise, protéger le recrutement à venir et permettre à la biomasse commerciale de se

---

reconstituer. Les réductions substantielles du TAC au cours des trois dernières saisons ont aidé à maintenir un rendement stable de la pêche dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, malgré la contraction de l'habitat, la réduction du recrutement et l'augmentation de la prédation. La moyenne géométrique des prises de relevé est stable et, d'après la structure du stock, il est probable qu'il y aura un recrutement accru dans la pêche au cours de la prochaine saison. Une stratégie de pêche modérément plus agressive peut être envisagée. L'habitat dans la ZPC 4X est « marginal » par rapport aux autres ZPC. L'incertitude associée à cette zone est augmentée en raison du faible recrutement interne et des grandes variations interannuelles de la température. La population de crabes des neiges ne s'est pas remise de l'épisode d'eaux particulièrement chaudes de 2012–2013. Un TAC nul a été fixé pour la saison de pêche 2018–2019 en raison de la faible biomasse commerciale. Les captures lors des relevés de recherche indiquent que les niveaux de la biomasse commerciale dans la ZPC 4X demeurent très faibles, mais qu'ils se sont améliorés.

---

## GESTION

Le stock de crabes des neiges (*Chionoecetes opilio*) de l'écosystème du plateau néo-écossais (EPN) est géré en trois grandes zones : nord-est de la Nouvelle-Écosse, sud-est de la Nouvelle-Écosse et la zone de pêche du crabe (ZPC) 4X (tableau 1; figure 1). Le sud-est de la Nouvelle-Écosse est subdivisé en deux zones de gestion des pêches : les ZPC 23 et 24, qui sont des divisions *ad hoc* fondées sur la commodité politique, sociale, économique et historique, avec peu de fondement biologique.

Les saisons de pêche ont également connu une évolution complexe fondée sur des considérations économiques, de sécurité et de conservation : conditions météorologiques saisonnières, prises de crabe à carapace molle et de crabe blanc, perturbation des périodes de reproduction et chevauchement avec d'autres pêches, notamment la pêche au homard et à la crevette nordique. De 1982 à 1993, la gestion des pêches dans l'est de la Nouvelle-Écosse était fondée sur le contrôle de l'effort (taille, sexe, dureté de la carapace, saison, permis, limites liées aux casiers). D'autres mesures de gestion ont été introduites de 1994 à 1999 : quotas individuels de bateau, totaux admissibles des captures (TAC), vérification à quai de 100 %, journaux de bord obligatoires et surveillance en mer par des observateurs agréés (actuellement à des niveaux de 5 %, 5 % et 10 % dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse, le sud-est de la Nouvelle-Écosse et la ZPC 4X, respectivement). Des systèmes de surveillance des navires ont été mis en œuvre dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse et la ZPC 4X, et des mesures de gestion volontaires demandées par les pêcheurs ont également été introduites dans certaines zones, comme une saison de pêche plus courte et un nombre réduit de casiers. La désignation d'un détenteur de « permis temporaire » a été abandonnée en 2005 en raison d'une rationalisation de la flotte qui a créé un enjeu permanent dans la pêche pour tous les détenteurs de permis.

En 2006, le protocole sur la carapace molle a été modifié dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse en raison de l'augmentation prévue de l'incidence du crabe des neiges à carapace molle et des dommages potentiels associés à la mortalité par manipulation. L'incidence du crabe à carapace molle observée par les observateurs en mer a été transmise à Pêches et Océans Canada (MPO) dans les 24 heures suivant le débarquement, tracée sur une grille de deux minutes et diffusée de nouveau à tous les membres de l'industrie à l'[adresse Web pour le crabe des neiges de l'est de la Nouvelle-Écosse](#) (ainsi que par courriel et télécopieur).

On demande aux pêcheurs d'éviter volontairement de pêcher dans un rayon de 1,5 mille marin des endroits où il y avait plus de 20 % de crabes à carapace molle dans les prises observées. Ce protocole de pêche adaptative permet d'ajuster rapidement l'effort de pêche, de changer d'engin de pêche ou d'éviter complètement les zones potentiellement problématiques et contribue également à économiser temps, carburant et autres coûts. Cette approche n'était pas requise dans la ZPC 4X en raison de la faible incidence des crabes à carapace molle dans les prises et n'a pas été adoptée dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse en raison de la courte saison de pêche. Toutefois, en raison de l'incidence élevée des crabes à carapace molle dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse en 2007–2008, des mesures de gestion directe ont été mises en œuvre pour régler les problèmes de mortalité liée à la manipulation du crustacé. Ces mesures comprennent maintenant une saison printanière, en plus de la saison estivale traditionnelle. Cette saison printanière a été tellement déterminante dans la réduction radicale des prises de crabe à carapace molle que le commencement de la saison a été avancé dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse également. Enfin, la remise à la mer volontaire de crabes immatures de taille légale (largeur de carapace  $\geq 95$  mm; crabes à pinces atrophiées) a été mise en œuvre en 2006 pour toutes les zones de l'EPN, afin de permettre à ces crabes de terminer leur cycle de mue et d'atteindre leur maturité, augmentant ainsi simultanément le

---

rendement total par crabe capturé, ainsi que le succès total de reproduction au cours de leur vie chez les grands mâles.

En 1996, le MPO (Centre des pêches du Golfe, Moncton, Nouveau-Brunswick) et les pêcheurs de crabe des neiges de l'EPN ont conclu une entente de projet conjoint pour évaluer le crabe des neiges de l'EPN en utilisant un relevé au chalut indépendant de la pêche (Biron *et al.* 1997). Il a été officiellement accepté comme outil d'évaluation en 1999. Ces relevés ont démontré la présence de crabes non exploités dans les zones sud-est de l'EPN, ce qui a entraîné une forte augmentation des TAC (tableaux 2 à 4), de l'effort de pêche, des débarquements et des taux de capture (figures 2 à 4) et l'arrivée de nouveaux participants. Les relevés au chalut ont été officiellement étendus à la ZPC 4X en 2004.

Depuis 2013, la recherche est financée par le truchement de l'article 10 de la *Loi sur les pêches* (« allocation de poisson aux fins de financement »). Ce mécanisme fournit un quota supplémentaire à tout titulaire de permis participant à une « entente de collaboration », qui finance directement le programme de recherche scientifique sur le crabe des neiges dans la région des Maritimes. Tous les détenteurs de permis de la région ont participé à cette entente depuis sa création en 2013.

Une certification du [Marine Stewardship Council](#) (MSC) a été accordée à la [pêche de l'est de la Nouvelle-Écosse](#) en septembre 2011. Quatre vérifications de surveillance ont été effectuées depuis lors. La pêche du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais a été certifiée une nouvelle fois en vertu de la version 2 du processus de certification du MSC en septembre 2017, sans condition. Dans cette nouvelle version du processus, les considérations relatives à l'habitat et à l'écosystème sont beaucoup plus vastes et tiennent compte de l'impact cumulatif de toutes les pêches certifiées dans la zone de pêche à évaluer. Bien qu'aucune vérification ne soit prévue avant la fin de l'été 2018, une vérification accélérée a été demandée en novembre 2017 en raison des interactions entre la pêche au crabe des neiges et les baleines noires de l'Atlantique Nord en péril dans les régions voisines du crabe des neiges du sud du golfe du Saint-Laurent. Les résultats de la vérification ont permis de maintenir la certification du MSC pour le crabe des neiges du plateau néo-écossais. Dans le cadre d'un processus distinct, la certification du MSC a été suspendue pour la pêche du crabe des neiges dans le golfe du Saint-Laurent en raison d'interactions négatives avec les baleines noires de l'Atlantique Nord. Une vérification de surveillance standard de la pêche au crabe des neiges au casier de l'est de la Nouvelle-Écosse a été organisée à l'automne 2018. Les résultats de cette vérification seront publiés en 2019.

## HISTORIQUE

La pêche du crabe des neiges est actuellement la deuxième [pêche commerciale](#) la plus importante au Canada atlantique et la troisième en Nouvelle-Écosse. Elle est active depuis le milieu des années 1970 (figure 2). Les premiers débarquements ont été enregistrés à des niveaux inférieurs à 1 000 t, principalement dans les zones littorales de l'est de la Nouvelle-Écosse. En 1979, les débarquements ont atteint 1 500 t, après quoi la pêche a diminué considérablement au milieu des années 1980, et on a considéré qu'elle s'effondrait. On a observé un recrutement dans la pêche en 1986 et, depuis, les débarquements, l'effort et les taux de capture ont considérablement augmenté (figures 2 à 4). En 1994, la pêche dirigée du crabe des neiges a commencé dans la ZPC 4X, l'aire de répartition la plus au sud, et se poursuit à de faibles niveaux de prises.

Les TAC annuels (tableaux 2 à 4) ont atteint un sommet en 2002–2003, soit 9 113 t dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse et 1 493 t dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse. Environ 10 000 t de crabe des neiges ont été débarquées chaque année de 2000 à 2004. Ainsi, dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, la période postérieure à 1998 a été marquée par une expansion

---

rapide de l'importance économique de la pêche au crabe et de l'étendue spatiale de l'exploitation. En 2004, avec la persistance de faibles niveaux de recrutement et une baisse constante des estimations de la biomasse exploitable depuis le début des années 2000, des stratégies d'exploitation de précaution ont été adoptées pour l'EPN.

De 2004 à 2008, les TAC ont fortement diminué dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse en raison d'un recrutement négligeable. L'augmentation du recrutement et les estimations de la biomasse exploitable ont entraîné une augmentation des TAC jusqu'en 2014. En 2015 et 2016, les TAC ont été réduits en raison de la faible biomasse commerciale et du très faible recrutement dans la pêche. Ces baisses ont été exacerbées par l'adoption de règles de contrôle des prises (RCP) qui ont forcé la stratégie d'exploitation dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse à être plus prudente. Un nouveau modèle d'estimation de la biomasse (LBM) a été adopté dans l'évaluation de 2017 (relevé de 2016). Cette nouvelle approche de modélisation a entraîné une augmentation substantielle des estimations de la biomasse pour le nord-est de la Nouvelle-Écosse, car les estimations de la biomasse modélisées ont été utilisées au lieu de l'indice de relevé pour déterminer un taux d'exploitation cible. En 2017, le TAC pour le nord-est de la Nouvelle-Écosse était le plus élevé depuis 2004, malgré un faible recrutement continu dans la pêche. Ce TAC élevé a été essentiellement maintenu en 2018 (réduction de 5 %). En 2017, cette approche LBM a été affinée pour devenir l'approche stmv actuelle (plus de détails dans la section des méthodes).

Dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, les TAC ont augmenté à partir de 2005 pour atteindre un niveau record en 2010, puis ils ont progressivement diminué jusqu'en 2013. Le TAC du sud-est de la Nouvelle-Écosse est à nouveau en baisse depuis 2016 en raison de la diminution des estimations de la biomasse.

Les TAC de la ZPC 4X ont varié entre 230 t et 346 t de 2005 à 2012. La réduction des estimations de la biomasse et le rendement médiocre de la pêche de 2012–2013 dans la ZPC 4X (débarquements < 1/2 TAC) ont entraîné des réductions radicales du TAC de la ZPC 4X pour 2013–2014. Le TAC dans la ZPC 4X est demeuré faible (par rapport aux niveaux d'avant 2013), tout comme les estimations de la biomasse commerciale. Aucune pêche commerciale n'a eu lieu dans la ZPC 4X pour la saison 2018–2019 en raison des estimations de la biomasse commerciale qui ont placé le stock dans la « zone critique ».

## MÉTHODES

Le principal moteur des approches analytiques élaborées pour l'évaluation du crabe des neiges de l'EPN est la grande variabilité temporelle et spatiale des distributions spatiales du crabe des neiges. Cela est probablement dû au fait que la zone est l'extrême sud de l'aire de répartition de l'espèce dans l'Atlantique Nord-Ouest. Toutes les analyses de données ont été mises en œuvre dans le langage et l'environnement de calcul statistique R (R Development Core Team 2012) pour permettre la migration et la documentation des méthodes à l'avenir. La suite analytique complète, codée en R, est publiée sur un [site Web de dépôt GitHub](#).

Les conversions entre les systèmes de coordonnées cartographiques et cartésiennes à des fins d'analyse ont été calculées avec PROJ (Evenden 1995, version 4.4.9) au moyen du progiciel R rgdal (Bivand *et al.* 2016) sur le système de quadrillage Mercator transverse universelle (MTU, région 20).

Un certain nombre de méthodes d'interpolation spatiale et temporelle ont été utilisées dans cette évaluation. Pour une visualisation rapide des données (mais pas de l'évaluation proprement dite), on a calculé la fonction spline des plans affinés à l'aide des champs du progiciel R::fastTps (Nychka *et al.* 2015), en utilisant une fonction de covariance compacte de Wendland avec un paramètre de portée de 25 km de rayon (thêta) pour chaque donnée. Il s'agit d'une fourchette comparable à celle observée dans les variogrammes empiriques de

---

nombreuses variables (Choi et Zisserson 2012). Aux fins d'analyse, on utilise une nouvelle approche fondée sur un réseau en treillis (voir ci-dessous) depuis 2017.

## **DONNÉES SUR LES PÊCHES**

Les taux de prise de la pêche sont des indicateurs potentiellement biaisés de l'abondance du crabe des neiges. La distribution spatiale et temporelle des crabes et de l'effort de pêche n'est pas uniforme, variant fortement selon la saison, les températures au fond, la disponibilité de la nourriture, le moment de la floraison printanière du plancton, le comportement reproducteur, la disponibilité du substrat et des abris, la présence relative de crabes mous et immatures, la composition de l'espèce, l'expérience des pêcheurs, le type d'appât, les périodes d'immersion et les courants ambiants. On n'a pas ajusté les taux de prise pour tenir compte de ces influences et on ne les présente ici que pour assurer la continuité par rapport aux données historiques. Les taux de capture de la pêche sont utilisés comme mesure du rendement de la pêche et non du rendement ou de l'abondance des stocks.

Les journaux de bord obligatoires de la pêche commerciale (remplis à bord des bateaux de pêche par le capitaine) fournissent des renseignements sur l'emplacement, l'effort (nombre de casiers levés) et les débarquements (confirmés par une vérification à quai). Les données sont stockées dans la base de données du SIPMAR (région des Maritimes du MPO, Direction des politiques et de l'économie, Division des données commerciales). La qualité des données a été vérifiée.

Les données observées en mer fournissent des informations sur la structure de taille et l'état de carapace (CC) du stock exploité commercialement (tableau 5; figure 5). Les données sont stockées dans le système de base de données des observateurs (BDRI). Les observateurs en mer sont déployés au hasard et la couverture est répartie aussi uniformément que possible entre les navires. La couverture cible (en pourcentage du total des débarquements) est de 5 % pour le sud-est de la Nouvelle-Écosse et le nord-est de la Nouvelle-Écosse et de 10 % pour la ZPC 4X. Cette information a également été utilisée pour calculer les prises accessoires potentielles d'espèces autres que le crabe des neiges par les pêcheurs de crabe des neiges. Les estimations des prises accessoires de chaque espèce  $i$  ont été extrapolées à partir de la biomasse de l'espèce  $i$ , observée dans les prises, et de la couverture relative des observateurs par le calcul suivant :

$$\text{Prises accessoires}_i \text{ [kg]} = \text{prises observées}_i \text{ [kg]} \times \frac{\text{débarquements totaux de crabe des neiges [kg]}}{\text{prises observées}_{\text{crabe des neiges}} \text{ [kg]}}$$

Les observateurs en mer n'ont pas suivi le protocole de déclaration approprié (uniquement en ce qui concerne les prises accessoires) pour la pêche de 2018 dans le nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse. Une surveillance adéquate des prises accessoires a été effectuée dans la ZPC 4X pour la pêche de 2017–2018. Ainsi, pour les pêches de l'est de la Nouvelle-Écosse, il n'y a pas de données propres aux espèces accessibles pour 2018, mais l'application des niveaux moyens de prises accessoires pour les trois dernières années aux débarquements actuels donnera une mesure approximative des niveaux globaux de prises accessoires. On a discuté de cette violation du protocole de rapport avec l'entrepreneur observateur en mer afin garantir sa conformité future.

## **DONNÉES DES RELEVÉS DE RECHERCHE**

La couverture spatiale dans le relevé est (1) importante, allant bien au-delà de toutes les aires de pêche commerciale connues, et (2) intensive, avec au moins une station de relevé située presque aléatoirement dans chaque zone de 10 x 10 minutes (figure 6). Ce plan d'échantillonnage a d'abord été élaboré pour faciliter les techniques d'estimation géostatistique (Cressie 1993). D'autres stations ont été ajoutées de façon adaptative en fonction des tentatives visant à réduire les estimations locales de la variance des prévisions et à déterminer

---

les limites spatiales de l'habitat du crabe des neiges. Depuis 2004, environ 400 stations ont été échantillonnées chaque année. Le navire hydrographique *F/V The Gentle Lady* a été utilisé à partir de 2004–2013. En raison du naufrage du *F/V The Gentle Lady* en décembre 2013 au cours d'une sortie de pêche commerciale, les relevés subséquents ont été effectués à bord d'un navire ayant des caractéristiques similaires, le *F/V Ms. Jessie*. Pour maintenir une série chronologique uniforme, on utilise le même capitaine, le même filet et les mêmes systèmes de surveillance de filet depuis 2004. En raison de conditions météorologiques défavorables tout au long de la saison de relevé de 2017, 32 stations n'ont pas été échantillonnées. Ces stations se trouvaient du côté sud du banc Banquereau, à l'angle sud-est de la limite continentale du plateau néo-écossais. Lors du relevé de 2018, on a effectué tous les échantillonnages prévus de stations de relevé. On a stratégiquement réduit le nombre total de stations dans la ZPC 4X de 34 à 20 au cours des deux derniers relevés afin qu'il corresponde à la réduction de l'habitat viable et pour réduire le coût des relevés. Le nombre inférieur de stations dans la ZPC 4X devrait avoir des effets limités sur les estimations modélisées de la biomasse, mais il doit être pris en compte dans l'interprétation des estimations de densité non ajustées, car les stations supprimées n'ont pas enregistré de captures de crabe des neiges depuis de multiples années.

L'étendue du plan d'échantillonnage permet de déterminer objectivement les limites spatiales de la population de crabes des neiges. Ces renseignements sont essentiels pour fournir des estimations fiables de la biomasse et de la structure de la population (c.-à-d. taille, sexe, maturité). La répartition spatiale du crabe des neiges est dynamique et peut se déplacer rapidement vers des zones où l'espèce n'est pas « traditionnellement » présente. De plus, les profils de répartition des crabes immatures, à carapace molle, très vieux et femelles ne correspondent pas toujours à ceux des mâles de taille réglementaire. On considère que les premiers sont moins compétitifs et plus vulnérables à la prédation (Hooper 1986) et on les observe habituellement dans des milieux ou des substrats plus recouverts (gravier, roches; Comeau *et al.* 1998). L'échantillonnage axé sur les zones où les grands mâles à carapace dure sont très fréquents ne permettrait pas d'estimer de façon fiable l'abondance relative des autres segments de la population de crabes.

En raison de l'évolution progressive de l'étendue aérienne et des modifications de l'intensité et du calendrier des relevés depuis le milieu des années 1990, les comparaisons interannuelles directes des données sont compliquées sur toute la série chronologique. Les tendances temporelles sont les plus fiables pour la période postérieure à 2004. Dans toutes les zones, les lieux de pêche sont laissés en jachère le plus longtemps possible entre le moment de la pêche commerciale et celui des relevés dans cette zone. Cela permet aux populations de crabes de se redistribuer après des prélèvements localisés (c.-à-d. des prises commerciales). Des efforts de pêche tardifs, résultant d'une possible prolongation de la saison de pêche, peuvent avoir une incidence sur cette redistribution du crabe.

On a utilisé un chalut Bigouden Nephrops personnalisé, un filet conçu à l'origine pour creuser dans des sédiments mous dans le but de capturer une espèce de homard en Europe, pour échantillonner le crabe des neiges et d'autres espèces de la faune benthique (ralingue supérieure de 20 m, ralingue inférieure de 27,3 m montée avec une chaîne de 8 mm mesurant 3,2 m, avec un maillage de 80 mm dans les ailes et 60 mm dans le ventre et 40 mm dans le cul de chalut). La configuration du filet a été enregistrée à l'aide de capteurs sans fil de surveillance du chalut; la profondeur et la température ont été enregistrées à l'aide d'enregistreurs de température et de profondeur SBE 39 de Seabird; l'information sur la position a été enregistrée au moyen d'un système de positionnement mondial. La durée réelle du contact avec le fond a été évaluée à partir de la surveillance du chalut et des flux de données de Seabird. La vitesse du navire a été maintenue à environ deux nœuds. La longueur de la fune correspondait à environ trois fois la profondeur. La surface balayée du filet a été calculée à partir de la distance balayée et de la largeur du filet surveillée. Une description détaillée des protocoles d'échantillonnage se trouve dans Zisseron (2015).

---

Tous les crabes des neiges ont été dénombrés et mesurés à l'aide d'étriers; l'état de la carapace a été déterminé (tableau 5), la dureté des pinces a été mesurée avec un duromètre et les crustacés ont été pesés avec des balances à compensation de mouvement. On a également procédé à un examen visuel des crabes capturés pour déceler la présence de la maladie du crabe amer (MCA). La saisie des données et le contrôle de la qualité ont été assurés par Javitech Ltd. et ont été transférés dans le système de base de données des observateurs, au MPO (Institut océanographique de Bedford, Dartmouth, Nouvelle-Écosse).

Dans les cas où il était impossible de peser des crabes des neiges individuels (pattes manquantes, croissance excessive d'anatifes, etc.), on a approximé les estimations du poids individuel à partir des mesures de la largeur de carapace (LC) en appliquant une relation allométrique établie pour le crabe des neiges à carapace dure adulte (Biron *et al.* 1999;  $R^2 = 0,98$ ,  $n = 750$ ) :

$$\text{masse [g]} = 1,543 \times 10^{-4} \times \text{LC [mm]}^{3,206}$$

L'état de maturité des crabes des neiges mâles a été déterminé à partir d'une combinaison de stadification biologique par CC et d'une analyse morphométrique. Bien que la maturité physiologique ne coïncide pas directement avec l'apparition de la maturité morphométrique (Sainte-Marie 1993), cette dernière est plus facile à déterminer et est considérée comme un indicateur raisonnable de la maturité physiologique (sexuelle).

Lors de la dernière mue du crabe des neiges mâle, on observe généralement une augmentation disproportionnée de la hauteur des chélipèdes (HC) par rapport à la LC. Les mâles morphométriquement matures ( $M_{\text{mâle}}$ ) peuvent être discriminés des mâles morphométriquement immatures au moyen de l'équation suivante (E. Wade, CPG, communication personnelle) :

$$M_{(\text{mâle})} = -25,324 \cdot \ln(\text{LC [mm]}) + 19,776 \cdot \ln(\text{HC [mm]}) + 56,650$$

où un individu est considéré comme mature si  $M_{(\text{mâle})} > 0$ .

L'état de maturité des crabes femelles est évalué à partir d'une inspection visuelle directe de la présence d'œufs. Lorsque l'état de maturité était ambigu, la maturité a été déterminée morphométriquement, car la largeur de l'abdomen (mesurée par la largeur du cinquième segment abdominal, AW) augmente rapidement par rapport à la LC au début de la maturité morphométrique, ce qui facilite l'incubation des œufs. Ce début de maturité morphométrique ( $M_{\text{femelle}}$ ) peut être délimité au moyen de l'équation suivante (E. Wade, CPG, communication personnelle) :

$$M_{(\text{femelle})} = -16,423 \cdot \ln(\text{LC [mm]}) + 14,756 \cdot \ln(\text{AW [mm]}) + 14,900$$

où un individu est considéré comme mature si  $M_{(\text{femelle})} > 0$ .

Les sex-ratios (proportion de femelles en nombre) ont été calculés comme suit :

$$\text{Sex-ratio} = N_{(\text{femelle})} / (N_{(\text{mâle})} + N_{(\text{femelle})})$$

On a décelé des cas de MCA chez le crabe des neiges dans le relevé au chalut en 2008. À partir de 2009–2011, on a procédé à des analyses en laboratoire de l'hémolymphe pour surveiller les taux d'infection réels au sein de la population de crabe des neiges du plateau néo-écossais. Cette méthode a été suggérée pour améliorer les taux de détection, car les évaluations visuelles ne sont efficaces que pour relever les infections à un stade avancé. Après une comparaison des résultats visuels et de laboratoire de la détection de la MCA, il a été déterminé que l'évaluation visuelle était une méthode de détection plus robuste. Par conséquent, les tests de laboratoire de l'hémolymphe du crabe ont été interrompus en raison des coûts élevés et du manque de fiabilité des résultats.

---

Les histogrammes taille-fréquence ont été exprimés sous forme de nombre par unité de surface balayée dans chaque intervalle de taille (nombre de km<sup>-2</sup>; c.-à-d. la densité numérique moyenne arithmétique par unité de surface). Les modes et les limites de chaque groupe modal ont été déterminés à partir des distributions de fréquence des tailles. Au cours de son développement, le crabe des neiges mue à travers plusieurs stades de développement. On a déterminé chaque stade (I) après une analyse des distributions taille-fréquence afin d'obtenir une limite inférieure de LC (mm) approximée par (voir aussi la figure 7) :

$$LC_{(I, \text{m\^a}le)} [mm] = \exp(1,918 + 0,299 \cdot [I - 3])$$

$$LC_{(I, \text{femelle})} [mm] = \exp(2,199 + 0,315 \cdot [I - 4])$$

## MODÈLES SPATIO-TEMPORELS

Pour l'évaluation de la biomasse exploitable du crabe des neiges, on a développé un [progiciel R](#) (stmv) pour assimiler, modéliser et interpoler les processus spatio-temporels. Une description de l'approche stmv (modèles spatio-temporels de variabilité) est présentée à l'annexe 1. L'approche stmv aborde un processus spatio-temporel lisse donné, comme la biomasse du crabe des neiges, comme un processus hiérarchique en deux étapes qui s'apparente conceptuellement au krigeage avec « dérive externe » (Cressie 1993; Diggle *et al.* 2003). L'influence des facteurs environnementaux et biologiques est modélisée globalement comme un premier passage (« dérive externe ») puis les configurations spatiales (et dans ce cas, spatio-temporelles) résiduelles sont modélisées séparément dans une seconde étape. La plupart des méthodes géostatistiques basées sur des modèles, y compris le krigeage avec dérive externe, supposent généralement une simple covariance spatiale (variogramme) pour l'ensemble du domaine spatio-temporel. Dans stmv, la forme de la dépendance spatiale et spatio-temporelle de ces résidus est déterminée à partir de données pour des zones d'intérêt localisées centrées sur les nœuds d'un réseau spatial statistique et une plage basée sur un variogramme local utilisant une formulation de Matern. Elle s'apparente donc à une « régression pondérée géographiquement ». Cependant, un modèle structuré de séries chronologiques avec des composantes harmoniques saisonnières et annuelles est utilisé pour interpoler les tendances temporelles à chaque donnée à l'intérieur de cette zone d'intérêt, en utilisant un modèle additif généralisé log-normal (MAG; progiciel R « mgcv »; Wood 2006). On a ensuite utilisé ces interpolations temporelles pour informer l'interpolation spatiale par l'intermédiaire d'un krigeage localisé utilisant une approximation fondée sur une transformation de Fourier rapide pour chaque tranche de temps. Tous les paramètres propres à l'évaluation se trouvent [sur ligne](#).

À l'aide de stmv, on a modélisé l'« habitat viable » du crabe des neiges exploitable à l'échelle mondiale à partir des relevés au chalut du crabe des neiges au moyen d'un MAG binomial avec une fonction de lien logit. Les covariables lissées (fonction spline des plans affinés) étaient les suivantes : année, fraction d'année (saisonnalité), profondeur, pente du fond, courbure du fond, température au fond, écart-type de température au fond, nombre de degrés-jours, ln(granulométrie du substrat; mm), composition de l'espèce (analyse en composantes principales, axes 1 et 2) [figures 8 et 9; voir Choi *et al.* 2005a pour des renseignements détaillés sur la méthodologie]. On a utilisé ces relations modélisées pour prédire l'habitat du crabe des neiges de l'EPN après avoir discrétisé l'information covariable jusqu'à une résolution spatiale quadrillée de 1 × 1 km, en utilisant également stmv (figures 8 et 9). L'habitat potentiel du crabe des neiges a été déterminé comme étant les endroits où la probabilité prévue de trouver du crabe des neiges était > 0,05 (figure 10).

Pour la biomasse exploitable, on a effectué une deuxième étape de modélisation à partir des estimations positives de l'abondance en utilisant la même procédure globale-locale avec une liaison logarithmique. Après estimation, la densité de la biomasse exploitable dans l'habitat

---

viable a été déterminée (figure 11). Les mêmes covariables utilisées pour la délimitation de l'habitat ont été utilisées pour la modélisation de l'abondance.

Les estimations de la biomasse résultant de l'utilisation initiale de cette approche en 2017 semblent avoir fait l'objet d'un lissage excessif d'une année à l'autre. Les estimations n'ont pas saisi l'ampleur de la nature cyclique pluriannuelle des populations de crabe des neiges observée ailleurs dans les données (fréquences des longueurs, moyennes géométriques des densités, etc.) On a supposé que cela résultait d'un lissage excessif par les MAG locaux. Pour résoudre ce problème, on a réalisé une modélisation spatiale locale en utilisant une approximation par transformation de Fourier rapide pour les interpolations spatiales locales en combinaison avec des MAG pour l'interpolation temporelle locale.

## **PRÉDATION**

Les prédateurs du crabe des neiges ont été déterminés à l'aide des données contenues dans la base de données sur les habitudes alimentaires de la région des Maritimes du MPO (Cook et Bundy 2010). Cette base de données contient de l'information sur le contenu stomacal de plus de 170 000 individus représentant 68 espèces de poissons pélagiques et de fond provenant de diverses sources depuis 1958. L'échantillonnage des données sur l'alimentation dans l'est de la Nouvelle-Écosse était uniforme entre 1999 et 2016. À partir de cet ensemble de données, on a déterminé les prédateurs du crabe des neiges ainsi que la fréquence d'observation du crabe des neiges dans le cadre du régime alimentaire des espèces prédatrices et le pourcentage du poids total du contenu stomacal représenté par le crabe des neiges. Comme l'incidence de la prédation est liée non seulement à la fréquence de la consommation de l'espèce, mais aussi à la biomasse de l'espèce prédatrice, les tendances de la biomasse pour les prédateurs indiqués dans le relevé du crabe des neiges ont été examinées. Les indices de biomasse ont été présentés sous forme de moyenne géométrique et d'intervalles de crédibilité estimés selon la méthode bootstrap de la zone, et ils ont été normalisés pour chaque trait (exprimés en kg/km<sup>2</sup>).

## **MODÈLE D'ÉVALUATION DES STOCKS**

Un modèle logistique distinct modifié de la composante de la biomasse exploitable est utilisé pour déterminer les points de référence biologiques pertinents (c.-à-d. la capacité de charge et la mortalité par pêche au rendement maximal durable, ou  $F_{RMD}$ ) associés aux règles de contrôle des prises pour la pêche du crabe des neiges. Les méthodes bayésiennes de type espace-état sont utilisées pour estimer les paramètres de ce modèle et les points de référence de contrôle des prises associées. Voir l'annexe 2 pour le contexte général de l'approche de précaution et de la durabilité appliquée à cette pêche.

## **INDICATEURS ÉCOSYSTÉMIQUES**

Une méthode de simplification des données multivariées connue sous le nom d'ordination multivariée a été utilisée pour décrire les tendances systémiques dans les séries de données temporelles (Koeller *et al.* 2000; Brodziak et Link 2002; Choi *et al.* 2005a; Koeller *et al.* 2006) de 2005 à 2014 dans les évaluations du crabe des neiges du plateau néo-écossais. Les principaux indicateurs environnementaux, sociaux, économiques et liés à la pêche ont été déterminés et résumés chaque année. Les indicateurs ont été rendus directement comparables par expression sous forme d'anomalies en unités d'écart-type (c.-à-d. une transformation du score Z), puis codés par couleur. Les valeurs manquantes étaient codées en blanc. Les paramètres ont ensuite été ordonnés dans l'ordre du gradient primaire (premier vecteur propre) obtenu à partir de l'ordination. Cela a permis de visualiser toute cohérence temporelle dans la manière dont les suites de ces indicateurs ont évolué au fil du temps. La séquence des indicateurs reflète le degré de similitude de leur dynamique temporelle. Plus précisément, on a utilisé une variante de l'analyse en composantes principales qui impliquait une analyse propre des

---

matrices de corrélation des indicateurs, après normalisation des données de ceux qui n'étaient pas normalement distribués (les transformations  $\log_{10}[x+1]$  étaient suffisantes). Dans l'analyse en composantes principales classique, il est d'usage de supprimer tous les cas de ce type (années) avec des valeurs manquantes, mais cela aurait éliminé une grande partie des séries de données de l'analyse. Les coefficients de corrélation de Pearson ont plutôt été calculés pour toutes les combinaisons possibles par paire en supposant implicitement qu'il s'agit d'une approximation du premier ordre de la « vraie » structure corrélacionnelle.

Dans de nombreux cas, les sources de données utilisées pour remplir cette vue d'ensemble ont changé (ou ont complètement cessé d'exister), ce qui a compliqué la possibilité de garder cette vue d'ensemble à jour. Cette approche ne sera pas poursuivie chaque année, mais la référence qui y est faite sert à décrire le rôle du crabe des neiges dans un écosystème en constante évolution.

## CYCLE BIOLOGIQUE

Le crabe des neiges est une espèce subarctique qui vit le long de la côte est de l'Amérique du Nord, du nord du Labrador au golfe du Maine. Dans l'EPN, le crabe des neiges pêché commercialement est généralement observé entre 60 et 280 m de profondeur et à des températures entre -1 et 6 °C. On croit que le crabe des neiges évite les températures supérieures à 7 °C, car on pense que les coûts métaboliques correspondent alors aux gains métaboliques (Foyle *et al.* 1989); cependant, dans le sud de la Nouvelle-Écosse, on a observé des crabes des neiges au-dessus du « point de rupture » des températures. Le crabe des neiges est généralement observé sur les fonds de boue molle, bien que l'on trouve aussi des crabes en mue et à petit corps sur des substrats plus complexes (blocs, galets) [Sainte-Marie et Hazel 1992; Comeau *et al.* 1998].

Les œufs de crabe des neiges sont couvés par leur mère jusqu'à deux ans, selon la température ambiante, la disponibilité de la nourriture et l'état de maturité de la mère (jusqu'à 27 mois chez la femelle primipare — première reproduction, et jusqu'à 24 mois chez la femelle multipare — deuxième ou peut-être troisième reproduction; Sainte-Marie 1993). Un développement plus rapide des œufs (de 12 à 18 mois) a été observé dans d'autres systèmes (Einer et Beninger 1995; Webb *et al.* 2007). On estime que plus de 80 % des crabes des neiges femelles du plateau néo-écossais suivent un cycle annuel plutôt que le cycle semestriel observé dans la plupart des autres régions (Kuhn et Choi 2011). Une femelle primipare dont la LC est d'environ 57,4 mm pondrait entre 35 000 et 46 000 œufs, qui sont extrudés entre février et avril (dans la région de la baie Sainte-Marguerite du nord du golfe du Saint-Laurent; Sainte-Marie 1993). La plage de fécondité observable est large, d'autant plus que l'on pense que les femelles multipares sont plus fécondes avec plus de 100 000 œufs produits par chaque femelle. Les œufs éclosent d'avril à juin et libèrent des larves pélagiques. Le stade larvaire pélagique dure de trois à cinq mois (stades zoé 1 et 2, puis stade mégaloïde), période durant laquelle les larves se nourrissent de plancton. Les larves se déposent au fond en automne et en hiver (de septembre à octobre dans la région du Golfe). Dans l'EPN, les larves pélagiques semblent avoir la plus grande abondance en octobre et peuvent donc commencer à se déposer aussi tard qu'en janvier. On sait très peu de choses sur les taux de survie à ces stades précoces du stade biologique.

Une fois établi sur le fond (phase benthique), le crabe des neiges croît rapidement et mue environ deux fois par année (Sainte-Marie *et al.* 1995; Comeau *et al.* 1998; figure 12). Au premier stade intermue (1<sup>er</sup> stade), la LC est d'environ 3 mm. Après le 5<sup>e</sup> stade (LC de 15 mm), la fréquence de mue diminue jusqu'à la mue printanière annuelle jusqu'à la dernière mue correspondant à la maturité. La croissance est allométrique, le poids augmentant d'environ 250 % à chaque mue (figure 7). On a observé une dernière mue entre le 9<sup>e</sup> et le 13<sup>e</sup> stade chez les mâles et au 9<sup>e</sup> ou 10<sup>e</sup> stade chez les femelles. Juste avant la dernière mue, le crabe mâle

---

peut sauter une mue une année pour muer l'année suivante (Conan *et al.* 1992; figure 12). Le crabe des neiges mâle atteint généralement la taille légale (LC  $\geq$  95 mm) dès le 12<sup>e</sup> stade; cependant, une fraction variable du crabe des neiges du 11<sup>e</sup> stade est également de taille réglementaire. Le crabe des neiges mâle au 12<sup>e</sup> stade a un âge d'environ neuf ans à partir du moment où il s'est établi sur le fond et 11 ans depuis l'extrusion de l'œuf. Par la suite, l'espérance de vie d'un crabe mâle est d'environ cinq à six ans. Il faut jusqu'à 10 mois pour que la coquille durcisse (CC1 et CC2 précoce; tableau 5), et jusqu'à un an pour que le rendement en chair soit commercialement viable. Après le durcissement de la carapace (CC 3 à 4), le mâle est en mesure de s'accoupler. Vers la fin de la vie d'un crabe des neiges (CC5), la carapace se détartre et se ramollit et il peut y avoir une forte croissance d'épibiontes. Dans certains milieux d'eau chaude (p. ex. les zones de pente continentale), la croissance d'épibiontes s'accélère, ce qui crée une certaine incertitude dans la classification de la condition de la carapace.

Les femelles se reproduisant pour la première fois (femelles primipares) commencent généralement leur mue de maturité à une LC moyenne de 60 mm et s'accouplent alors que leur carapace est encore molle (début du printemps : avant la saison de pêche dans l'est de la Nouvelle-Écosse et pendant la saison de pêche dans la ZPC 4X). Une deuxième période d'accouplement plus tard dans l'année (mai et juin) a également été observée pour les femelles multipares (Hooper 1986). On a aussi observé des habitudes comportementales complexes : le crabe mâle aide la femelle primipare à muer, la protège des autres mâles et des prédateurs et la nourrit même (indirectement; Hooper 1986). La formation du couple (une étreinte d'accouplement durant laquelle le mâle sert la femelle) peut se produire jusqu'à trois semaines avant l'événement d'accouplement (Hooper 1986). Au moment de la libération des larves, on a vu des mâles agiter des femelles pour aider à disperser les larves (c.-à-d. avant un accouplement multipare). Les femelles sont sélectives dans leur choix de partenaire, comme c'est souvent le cas chez les espèces sexuellement dimorphes, et on a observé des femelles mourir pour résister à des tentatives d'accouplement avec des mâles non sollicités (Watson 1972; Hooper 1986). Les mâles se battent fortement pour les femelles et se blessent souvent (perte d'appendices) pour conquérir une femelle. Les mâles plus grands avec des chélicèdes plus gros sont généralement plus efficaces pour l'accouplement et la protection des femelles contre les dangers.

## CONTEXTE ÉCOSYSTÉMIQUE

### APERÇU

Un aperçu des facteurs sociaux, économiques et écologiques pertinents qui ont été utilisés dans les évaluations antérieures du crabe des neiges du plateau néo-écossais est présenté ci-dessous (pour plus de renseignements, voir Choi *et al.* 2005a). Voir Cook *et al.* (2015) pour le tableau le plus récent et exhaustif de l'ordination triée des anomalies des principaux modèles sociaux, économiques et écologiques sur le plateau néo-écossais qui sont pertinents pour le crabe des neiges.

Le premier axe de variation représentait environ 22 % de la variation totale des données et il était dominé par l'influence des déclin de la taille moyenne des organismes dans les relevés sur le poisson de fond; les indicateurs socioéconomiques de l'exploitation de l'océan par l'homme et les changements connexes dans son abondance relative : débarquements et valeurs au débarquement du poisson de fond (en baisse), invertébrés (en hausse), diminution des requins et des grands poissons démersaux et des débarquements de poissons pélagiques, et prospection et mise en valeur des ressources pétrolières et gazières (en hausse). La taille de la population et le produit intérieur brut de la Nouvelle-Écosse ont également été des facteurs déterminants qui ont pris de l'ampleur. La condition physiologique de nombreux groupes de poissons a également diminué, tout comme le nombre de pêcheurs en Nouvelle-Écosse. Les

---

différences temporelles sur cet axe révèlent que des changements systémiques cohérents sont survenus dans les indicateurs socioéconomiques et écologiques au début des années 1990, avec un certain retour manifeste aux états antérieurs.

Les changements liés à la température étaient en général orthogonaux (indépendants) par rapport à l'axe de variation susmentionné. Ce deuxième axe de variation (orthogonal), représentant 10 % de la variation totale, était fortement associé à la température et au volume de la couche intermédiaire froide, aux températures au fond et à leur variabilité, aux concentrations d'oxygène au fond et à la couverture de glace de mer.

L'information anecdotique fournie par les pêcheurs et les taux de prise par pêche (figure 4) suggère que l'abondance du crabe des neiges était faible dans les zones littorales de l'EPN, avant 1980. Des augmentations des taux de prise ont été observées sur l'ensemble du plateau au milieu des années 1980 et dans les années 1990 dans le nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse, respectivement. Étant donné qu'il faut au moins neuf ans à partir du moment de la colonisation pour que le crabe des neiges exploitable commercialement atteigne la taille réglementaire de 95 mm de LC, sa domination numérique croissante en tant que macroinvertébré sur le plateau continental doit avoir eu son origine dès la fin des années 1970 et les années 1980 (nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse, respectivement). Pour le sud-est, ces lignes du temps sont faussées par l'expansion des zones de pêche vers des zones de plus en plus extracôtières et l'exploitation de populations de crabes auparavant inexploitées. La majeure partie de cette expansion a été observée après 2000, lorsque les TAC et les débarquements étroitement liés ont été multipliés par six par rapport aux TAC et aux débarquements des années 1990 et que l'effort de pêche a doublé (figures 2 et 3). Les augmentations du taux de prise observées dans les années 1980 et 1990 étaient donc probablement le reflet d'une augmentation réelle de l'abondance du crabe des neiges.

Les causes possibles de ce changement dans l'abondance peuvent être réparties dans les catégories suivantes : connectivité (dynamique de métapopulation); environnement (habitat); influences descendantes (prédation); influences ascendantes (limitation des ressources); influences latérales (concurrence); influences anthropiques (perturbations complexes).

## **CONNECTIVITÉ**

Dans cette évaluation, la connectivité fait référence à la façon dont diverses populations sont reliées les unes aux autres par l'immigration et l'émigration, aussi appelée dynamique de métapopulation. La connectivité entre les populations de crabes des neiges existe grâce à la dispersion larvaire lors des stades planctoniques et aux déplacements dirigés lors des stades benthiques.

### **Dispersion larvaire**

J. Chassé et D. Brickman (Division des sciences océanologiques, Institut océanographique de Bedford, MPO; communication personnelle) ont étudié le potentiel de transport hydrodynamique des larves de crabe des neiges du sud du golfe du Saint-Laurent vers l'EPN et la circulation interne sur ce plateau. En traitant les larves comme des particules passives, les simulations semblent indiquer qu'un grand nombre de larves peuvent être transportées vers l'EPN (surtout près du banc de l'île de Sable et dans les hauts-fonds plus à l'ouest). Il est possible que des larves de crabe des neiges pénètrent dans l'EPN à partir de la région du golfe du Saint-Laurent et du courant du Labrador, d'autant plus qu'il n'existe aucune différence génétique entre toutes les populations de crabe des neiges (Pubela *et al.* 2008). De plus, les organismes planctoniques peuvent maintenir leur position à un seul endroit dans des conditions advectives très fortes, grâce au contrôle des migrations verticales. Ainsi, le degré de rétention larvaire dans l'EPN, bien qu'inconnu, peut être important.

---

Les observations ci-dessous suggèrent également que la population de l'EPN peut agir comme un système de reproduction autonome.

- La dynamique temporelle de la population de crabe des neiges de l'EPN est généralement déphasée par rapport aux cycles observés jusqu'ici dans le sud du golfe du Saint-Laurent. Si l'EPN dépendait de la dérive larvaire de la région du Golfe, la dynamique temporelle des populations serait en phase.
- La distribution spatiale des larves de *Brachyuran* (Programme des ichtyoplanctons du plateau néo-écossais dans les années 1980; voir le résumé dans Choi *et al.* 2005 b, page 14) a été observée comme étant répandue dans l'EPN, sans clines spatiaux (c.-à-d. sans déclin de l'abondance avec l'éloignement de la région du golfe du Saint-Laurent) comme on pourrait s'y attendre si la source des larves se trouvait exclusivement dans la région du Golfe.
- Une forte abondance larvaire a été observée de 1997 à 1999 avec des pics en 1998 (Choi *et al.* 2005 b, page 14). Le moment de cette vague correspond aux calendriers de croissance du recrutement « local » actuellement prévu. Il faudrait environ neuf ans pour passer des stades zoé aux 11<sup>e</sup> et 12<sup>e</sup> stades, où le crabe des neiges commence à sa dernière mue avant la maturité en 2007, soit le même écart de temps entre 1998 et 2007.
- La période de la fin des années 1990, au cours de laquelle on a observé une production larvaire élevée, était la même période où l'abondance de crabes mâles et femelles adultes dans l'EPN était à son maximum.

Cela donne à penser que le crabe des neiges résidant dans l'EPN pourrait être capable de fonctionner comme un système d'autoreproduction, indépendamment des apports d'autres systèmes. Même s'il existe des sources externes de larves, le potentiel reproducteur du crabe des neiges résidant dans l'EPN proprement dit ne peut être écarté. Une approche prudente à l'égard de la récolte des grands mâles matures (c'est-à-dire des taux d'exploitation modérés) permettra de garantir que les femelles qui arrivent à maturité plus tôt dans le processus de recrutement ne fassent pas face à des limitations de spermatozoïdes. Un accouplement compromis (par exemple, par des limitations de spermatozoïdes) pourrait avoir des conséquences négatives sur la population 7 à 10 ans plus tard.

## Déplacement

Des études de marquage dans la région des Maritimes ont montré que les crabes des neiges (en particulier les grands mâles) ont une grande capacité locomotrice. Mullowney et ses collaborateurs (2018) ont avancé l'hypothèse que les déplacements des crabes mâles et femelles de Terre-Neuve sont divisés en deux types : saisonniers et ontogénétiques (liés au cycle de vie). Cette étude laisse entendre que les déplacements ontogénétiques sont associés à la recherche d'eau chaude, tandis que les migrations saisonnières semblent associées à la fois à l'accouplement et à la mue en eau peu profonde.

Des déplacements saisonniers et ontogénétiques semblent se produire sur le plateau néo-écossais. Les efforts de pêche commerciale (un indicateur important de grandes concentrations de crabes mâles) montrent des tendances saisonnières de déplacement vers des eaux plus profondes à mesure que celles-ci se réchauffent au printemps. Les déplacements à plus grande échelle (temporelle et géographique) des crabes des neiges mâles semblent être liés aux exigences du cycle de vie, comme la disponibilité de crabes femelles matures pour l'accouplement.

---

## ***Programme d'étiquetage traditionnel***

Depuis le début des années 1990, on utilise les étiquettes spaghetti de façon opportuniste pour surveiller les déplacements du crabe des neiges. Pour encourager la participation, il existe un programme de récompenses et on a créé une [solution de rechange en ligne pour la soumission de renseignements sur la recapture d'un individu marqué](#) afin de faciliter la déclaration.

Les renseignements sur les déplacements se limitent principalement à la recapture de crabes mâles adultes ayant subi leur dernière mue. L'application d'une étiquette spaghetti empêche la mue, de sorte que seuls les mâles adultes sont marqués et que les recaptures d'individus marqués proviennent de la pêche du crabe des neiges mâle exclusivement. Les résultats suggèrent que même si les déplacements des crabes sont très variables, la connectivité potentielle entre les régions est encore élevée (figure 13).

Les profils de déplacement saisonniers à court terme ne sont pas encore déterminés et constituent une source d'incertitude. Les profils de déplacement à long terme sont plus faciles à observer. On a déterminé deux profils de déplacement distincts pour le crabe des neiges de taille commerciale, l'un qui se caractérise par des taux de déplacement supérieurs à la moyenne pour un segment de la population (figure 14) et l'autre, par des déplacements plus localisés pour la majorité des crabes marqués. De plus, il y a deux périodes distinctes (de deux à quatre ans chacune) dans la série chronologique où des augmentations appréciables des taux de déplacement moyens ont été observées. Dans les deux cas, la population de crabes adultes était dominée par les mâles, les femelles adultes étant faibles dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse et presque inexistantes dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse. Cela indique que la reproduction est un facteur clé influençant le déplacement du crabe des neiges mâle adulte dans la région. Une émigration importante a été observée du nord-est de la Nouvelle-Écosse vers le Golfe (ZPC 12 et 19) au cours de ces périodes. Malheureusement, l'immigration vers le nord-est de la Nouvelle-Écosse n'a pas pu être observée, car aucun crabe n'a été marqué dans le Golfe pendant une longue période. Les déplacements des crabes immatures et femelles ne sont pas connus et demeurent une source d'incertitude. Une analyse supplémentaire des facteurs potentiels qui influencent les profils de déplacement à court et à long terme est nécessaire.

Une proportion inconnue des recaptures d'individus marqués n'a pas été déclarée. De l'information anecdotique suggère que les pêcheurs ne déclarent pas toujours les recaptures. Des inquiétudes ont été exprimées quant au fait qu'utiliser le retour des étiquettes pour indiquer les déplacements du crabe des neiges entre les zones de gestion pourrait avoir une influence sur les pratiques de gestion actuelles. Ces recaptures non déclarées ont une incidence négative sur la compréhension des profils de déplacement. Il est essentiel que les déclarations soient plus nombreuses et exhaustives afin d'accroître au maximum ces connaissances.

Depuis 2004, 23 766 étiquettes ont été apposées et 1 726 recaptures de crabes marqués (7,3 %) ont été déclarées (tableau 6) dans le nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse et la ZPC 4X. Même avec des taux potentiels de mortalité et d'exploitation liés à l'étiquetage de 15 à 30 %, une proportion plus élevée (plus de 7,3 %) d'individus marqués est probablement recapturée sans être déclarée. Depuis 2004, 168 personnes ont déclaré un total de 1 867 recaptures (tableau 6) de 1 726 crabes. En moyenne, chaque personne a déclaré 10 recaptures différentes ou plus. D'autres pêcheurs, qui travaillent à proximité de ces personnes, n'ont déclaré aucune recapture.

Sur les 1 726 crabes marqués recapturés, 1 247 ont été remis à l'eau et 141 d'entre eux ont été capturés de nouveau. Le suivi des crabes marqués au cours de multiples recaptures permet de mieux comprendre les habitudes de déplacement du crabe des neiges tout au long de son cycle

---

de vie. Lorsque des recaptures subséquentes sont déclarées, il est conseillé à toutes les personnes qui ont déjà capturé ce crabe en particulier d'encourager la remise à l'eau des crabes marqués.

Les crabes des neiges capturés dans les 10 jours suivant la remise à l'eau initiale ne sont pas inclus dans les analyses. Ce déplacement à court terme pourrait être directement influencé par d'autres facteurs tels que les courants d'eau qui font dériver le crabe à mesure qu'il se dépose au fond après son rejet. Traditionnellement, le déplacement des animaux marqués (p. ex. le crabe des neiges) est indiqué comme une distance en ligne droite entre les lieux de remise à l'eau et de recapture. Ce calcul de la distance parcourue est maintenant limité par des profondeurs de 60 à 280 mètres. Cette fourchette de profondeur est considérée comme une estimation plus prudente de l'utilisation de l'habitat du crabe des neiges comparativement aux méthodes antérieures qui ne tiennent pas compte des préférences en matière d'habitat. En moyenne, les crabes marqués entre 2004 et 2017 ont été capturés pour la première fois dans la saison suivant leur étiquetage (le délai moyen de recapture était de 463 jours), l'intervalle le plus long entre la remise à l'eau et la capture initiale étant de 2 278 jours (environ 6 ans et 3 mois; figure 14). Ce crabe avait parcouru au moins 132 km au cours de cette période. Très peu de recaptures (déclarées) se produisent au-delà de deux ans après l'étiquetage. La plupart des étiquettes sont apposées à bord de bateaux de pêche commerciale qui se livrent à la pêche au crabe. Les étiquettes sont généralement apposées là où les concentrations de crabe de taille commerciale et les prises qui en résultent sont élevées. Cette exploitation localisée élevée peut expliquer que la majorité des crabes des neiges sont recapturés au cours de la même saison ou de la saison suivant l'étiquetage. Ainsi, on s'attend à davantage de recaptures et de déclarations si toutes les recaptures sont déclarées.

La capacité locomotrice du crabe des neiges est grande. La distance moyenne parcourue était de 27 km, avec une distance maximale de 504 km (tableau 6). Le taux de déplacement moyen était de 1,79 km/mois. Ces distances et ce taux sont probablement sous-estimés, car la distance réelle parcourue par le crabe sera plus grande en raison de la complexité topographique et de la nature sinueuse de la plupart des déplacements des animaux. En moyenne, le crabe des neiges capturé dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse a un taux de déplacement de 2,05 km/mois, soit un peu plus élevé que dans le nord-est (1,65 km/mois) pour le « plus court trajet » (habitat restreint). Le taux de déplacement dans la ZPC 4X est le plus faible : 1,30 km/mois (tableau 7).

De 2004 à 2018, très peu de déplacements entre le nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse ont été observés. Au total, 10 crabes marqués dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse ont été recapturés dans le nord-est et 4 crabes marqués dans le nord-est ont été recapturés dans le sud-est. Il peut s'agir de sous-estimations des déplacements totaux en raison de la non-déclaration des recaptures (figure 13).

Les recaptures déclarées de crabes marqués entre 2010 et 2014 indiquent un déplacement important du nord-est de la Nouvelle-Écosse vers le sud du golfe du Saint-Laurent (« le Golfe », figure 13). Ce déplacement apparemment unidirectionnel (du nord-est vers le Golfe) est faussé par le fait qu'il n'y a pas eu de marquage dans la région du Golfe pendant cette période. Par conséquent, le degré de connectivité entre le Golfe et le nord-est de la Nouvelle-Écosse demeure inconnu et pourrait être important étant donné les concentrations élevées de crabe des neiges de taille commerciale dans la ZPC 19 adjacente (M. Moriyasu, GFC, communication personnelle). On espère que le programme d'étiquetage renouvelé dans la ZPC 19 (un effort conjoint des régions des Maritimes et du golfe du MPO) permettra de mieux comprendre la dynamique des déplacements du crabe des neiges entre ces régions.

---

On croit que la déclaration des recaptures d'individus marqués dans la ZPC 4X est beaucoup plus élevée que dans les autres zones (figure 15), en raison de la petite taille de la flotte (cinq ou six bateaux) et de l'engagement élevé de la flottille de pêche du crabe des neiges dans ces zones. Sur les 971 crabes étiquetés dans la ZPC 4X depuis 2008, 100 (10 %) ont été capturés au moins une fois. De ce nombre, 14 (14 %) ont été capturés une deuxième fois et 5 ont été capturés une troisième fois. Aucun déplacement de crabe marqué entre la ZPC 4X et le sud-est de la Nouvelle-Écosse n'a été signalé. Avec un taux élevé de déclaration des individus marqués et une faible émigration, on s'attend à un taux de retour plus élevé pour la capture initiale. La mortalité plus élevée dans la ZPC 4X due aux événements de réchauffement (Zisserson et Cook 2017) et les prises accessoires dans le cadre des autres pêches pourraient être des facteurs contributifs.

Il est recommandé de remettre à l'eau immédiatement un crabe marqué capturé avec l'étiquette encore apposée après l'enregistrement des données pertinentes (date, emplacement, profondeur, état du crabe et renseignements sur le bateau et la personne qui a recapturé l'individu marqué). Pour voir les données de déplacement plus en détail, visitez le [site Web du crabe des neiges de l'est de la Nouvelle-Écosse](#) et cliquez sur l'onglet de l'étiquetage.

### ***Programme d'étiquetage acoustique***

Depuis 2013, des étiquettes acoustiques sont apposées sur des crabes des neiges dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse et ses environs, et à proximité de la délimitation entre la ZPC 4X et la ZPC 24. Une méthodologie pour l'application d'étiquettes acoustiques sur des crabes des neiges a été élaborée (Zisserson et Cameron 2016). Chaque fois qu'un crabe des neiges muni d'une étiquette acoustique s'approche de l'un des récepteurs acoustiques (certains sont fixes et d'autres, mobiles), celui-ci reconnaît l'étiquette et enregistre les données connexes. Jusqu'à présent, la majorité des étiquettes acoustiques ont été apposées sur des crabes des neiges mâles adultes ayant subi leur dernière mue, bien que huit aient été apposées sur des crabes des neiges femelles adultes dans le nord-est de la ZPC 23 et six dans la ZPC 19. Aucun crabe femelle n'a encore été détecté. Le programme d'étiquetage acoustique permet la discrimination potentielle des schémas de déplacement sans qu'il soit nécessaire de recapturer les individus marqués dans le cadre d'activités de pêche commerciale. Ainsi, les taux de déclaration des recaptures ne biaisent pas les données sur les déplacements. L'industrie de la pêche du nord-est de la Nouvelle-Écosse émet depuis longtemps des hypothèses sur les schémas de déplacements dans cette région à partir des zones adjacentes. Les réseaux de récepteurs acoustiques entre le nord-est de la Nouvelle-Écosse et le Golfe ainsi que la ZPC 23 peuvent aider à décrire ces profils de déplacement.

Au cours de l'été 2013, 27 étiquettes acoustiques ont été déployées dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse. En un peu plus d'un an, 10 de ces étiquettes ont été détectées sur la ligne du détroit de Cabot (séparant essentiellement le nord-est de la Nouvelle-Écosse et le Golfe) et 3 d'entre elles ont été détectées plus tard dans la région du Golfe (figure 16). Ce marquage a été répété en 2015 aux mêmes endroits. À ce jour, aucun des crabes alors marqués n'a été détecté dans la région du Golfe ou à proximité. Sur les 27 crabes marqués, 23 ont été détectés dans un rayon de 15 milles marins des lieux de remise à l'eau. Cela confirme la nature épisodique de la connectivité entre le Golfe et le nord-est de la Nouvelle-Écosse observée grâce aux données sur les déplacements des individus marqués d'une étiquette spaghetti. En 2015, 40 individus marqués d'une étiquette acoustique ont été remis à l'eau dans le secteur de la fosse de Glace Bay du nord-est de la Nouvelle-Écosse; ces crabes ont tous été détectés dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse.

Afin de déterminer si les déplacements des crabes sont unidirectionnels ou bidirectionnels, on a posé des étiquettes acoustiques sur des crabes dans les zones adjacentes au nord-est de la

---

Nouvelle-Écosse. Depuis 2015, 57 crabes ont été étiquetés dans la région du Golfe (ZPC 19) et 79 l'ont été dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse (ZPC 23). Jusqu'à maintenant, il n'y a eu aucune détection dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse.

En 2017, 10 crabes marqués d'une étiquette acoustique ont été relâchés près des limites des ZPC 4X et 24. Quatre des cinq crabes relâchés dans la ZPC 4X ont depuis été détectés par la ligne de récepteurs de Halifax et l'autre a été capturé et relâché pendant la pêche. Un des cinq crabes relâchés du côté de la ZPC 24 a été détecté par un véhicule océanique autonome Wave Glider.

Si la reproduction est le principal moteur des profils de déplacement, on s'attend actuellement à des niveaux limités d'émigration du nord-est et du sud-est de la Nouvelle-Écosse, car l'abondance des femelles adultes est actuellement élevée et devrait demeurer élevée pour encore une ou deux années.

## **INFLUENCES ENVIRONNEMENTALES (HABITAT)**

Les influences environnementales (abiotiques) connues sur le crabe des neiges comprennent le type de substrat, les variations de température et les concentrations d'oxygène. Des conditions de température modifiées sur de longues périodes ont été observées dans l'EPN. Par exemple, avant 1986, le plateau se caractérisait par des températures au fond relativement chaudes, un faible volume de la couche intermédiaire froide et une position frontale du Gulf Stream plus près du plateau continental. La période postérieure à 1986 s'est transformée en un environnement caractérisé par des températures au fond froides, un volume élevé de la couche intermédiaire froide et une position frontale Gulf Stream éloignée du plateau. On pense que les causes principales du froid sont l'advection le long du plateau continental dans le golfe du Saint-Laurent et dans le sud de Terre-Neuve, ainsi que le refroidissement local induit par l'atmosphère. Dans les régions du sud-ouest (bassin d'Émeraude), l'eau chaude de la pente continentale extracôtière a maintenu les températures sous la surface relativement chaudes tout au long des années 1980 et 1990, à l'exception de 1997–1998, lorsque les eaux froides de la pente continentale du Labrador se sont déplacées dans la région le long du rebord du plateau et ont inondé les couches inférieures des régions du centre et du sud-ouest. Bien que cet événement ait produit les conditions près du fond les plus froides dans ces régions du plateau depuis les années 1960, il a été de courte durée, soit environ un an.

Les températures au fond dans les centres de la répartition du crabe des neiges du sud-est de la Nouvelle-Écosse augmentent constamment depuis le début des années 1990 (figures 17, 18 et 19). Le nord-est de la Nouvelle-Écosse présente un champ de température au fond relativement plus stable, bien qu'il présente toujours une légère tendance à la hausse. Dans la ZPC 4X, les températures au fond continuent d'être généralement plus chaudes et plus erratiques que dans les autres régions. L'augmentation des températures peut avoir des effets multiples sur les populations de crabe des neiges. Les températures au fond nuisent à la plupart des stades de la phénologie du crabe des neiges, bien que les stades les plus précoces (larves pélagiques) soient directement touchés par les températures dans la colonne d'eau supérieure. Dans des plages de températures acceptables, des températures plus chaudes peuvent se traduire par des animaux adultes plus gros, ce qui pourrait être causé par une diminution de l'intervalle entre les mues avec des températures plus chaudes (Burmeister et Sainte-Marie 2010; Dawe *et al.* 2012). Les femelles adultes plus grosses pourraient aussi avoir une plus grande fécondité (Sainte-Marie *et al.* 2008). Malheureusement, ces effets positifs d'augmentations mineures de la température sont probablement atténués ou éclipsés par des changements de température plus prononcés qui augmentent la température moyenne au fond dans une plage moins appropriée pour le crabe des neiges. Cela peut causer (et a causé) un déplacement vers le nord de la répartition globale du stock dans l'Atlantique (Agnalt *et al.* 2010;

---

Burmeister 2010) et dans le Pacifique (Orensanz *et al.* 2004). Des diminutions de la biomasse des populations locales de crabe des neiges dues à la température ont déjà été observées sur le plateau néo-écossais. Les estimations de l'abondance et les taux de prise ont fortement diminué dans la ZPC 4X (la population de crabe des neiges la plus méridionale de l'Atlantique Ouest) après un épisode d'eau chaude en 2012–2013 (Zisserson et Cook 2017) et n'ont pas retrouvé les niveaux observés précédemment. Outre les effets biologiques directs sur le crabe des neiges et sa répartition, les changements de température peuvent créer de nouveaux régimes écosystémiques qui influent sur le rôle relatif du crabe des neiges dans la communauté benthique. Ces changements peuvent se manifester par des changements dans la prédation, la disponibilité de la nourriture, la concurrence latérale, les espèces envahissantes, etc.

L'habitat potentiel modélisé du crabe des neiges dans l'EPN pour 2018 est présenté aux figures 10 et 20.

## INFLUENCES DESCENDANTES (PRÉDATION)

Les influences descendantes font référence au rôle des prédateurs dans le contrôle d'une population (Paine 1966; Worm et Myers 2003). La capacité des poissons de fond prédateurs à se nourrir de façon opportuniste du crabe des neiges, combinée à leur dominance numérique avant les années 1990, donne à penser que ces poissons pourraient avoir joué un rôle important dans la régulation du recrutement du crabe des neiges. Par exemple, la raie épineuse et la morue franche (Robichaud *et al.* 1991) ciblent le crabe des neiges ayant une LC de 5 à 30 mm (valeur modale de 7 mm de LC; c'est-à-dire les stades 2 à 7, le stade 7 étant fortement sélectionné). Les mâles à carapace molle dont la LC variait de 77 à 110 mm pendant la mue printanière étaient également des aliments privilégiés. L'effondrement des stocks de poissons de fond prédateurs après 1990 et le relâchement consécutif de la prédation sur les crabes immatures et à carapace molle pourraient avoir été des facteurs déterminants de la prédominance actuelle du crabe des neiges dans l'EPN. À mesure que la présence du crabe des neiges (par rapport à d'autres espèces) change dans l'écosystème, son rôle potentiel en tant que prédateur et proie change également (Boudreau et Worm 2012).

Les prédateurs connus du crabe des neiges dans l'EPN étaient les suivants, par ordre d'importance : le loup atlantique (*Anarhichas lupus*), le flétan atlantique (*Hippoglossus hippoglossus*), les raies (la raie à queue de velours *Malacoraja senta*, la raie épineuse *Raja radiata*, et la raie tachetée *Leucoraja ocellata*), le chaboisseau à dix-huit épines (*Myoxocephalus octodecimspinosus*), l'hémitriptère (*Hemitripterus americanus*), la morue franche (*Gadus morhua*), la merluche blanche (*Urophycis tenuis*), la plie canadienne (*Hippoglossoides platessoides*) et l'aiglefin (*Melanogrammus aeglefinus*). Le niveau global de prédation du crabe des neiges semble être négligeable dans l'EPN, puisque parmi les estomacs examinés, seulement ceux de flétan de l'Atlantique et de loup atlantique contenaient du crabe des neiges dans plus de 1 % des cas (tableau 8). Cela représente moins de 1,5 % du poids du régime alimentaire de chaque espèce, particulièrement comparativement à d'autres régions où la fréquence d'observation du crabe des neiges comme proie est souvent supérieure à 10 % (Robichaud *et al.* 1989, 1991).

L'enlèvement involontaire de 32 stations (pour plus de renseignements, voir la section Méthodes : Données des relevés de recherche) sur le bord de la pente continentale dans la ZPC 23 pour le relevé de 2017 a probablement réduit les densités moyennes apparentes de certains prédateurs du crabe des neiges. Cette zone non échantillonnée présente souvent de fortes densités localisées de morue franche et d'espèces de raies. On a échantillonné ces zones comme prévu lors du relevé de 2018.

La biomasse du flétan atlantique a augmenté de façon presque exponentielle (MPO 2018a), ce qui laisse entendre que le nombre total de crabes des neiges consommés est probablement en hausse dans le cas de ce prédateur (figures 21 et 22). Généralement, on n'observe que des

---

crabes des neiges ayant une LC < 65 mm dans l'estomac des poissons, parce que l'envergure maximale dépasse l'ouverture de la gueule des prédateurs (Chabot *et al.* 2008). La prolifération du flétan atlantique, en particulier les gros individus dont l'ouverture de la bouche est large, pourrait créer une prédation rarement observée par le passé pour le crabe des neiges de plus grande taille. Des signalements anecdotiques de grands flétans atlantiques dont l'estomac contenait plusieurs crabes des neiges femelles adultes appuient cette affirmation.

L'augmentation de la prédation des crabes femelles adultes aura une incidence sur le potentiel reproducteur du crabe des neiges du plateau néo-écossais. Le flétan est probablement la plus grande source de prédation du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais.

Le loup atlantique est un prédateur potentiel important du crabe des neiges, mais ses indices de biomasse indiquent actuellement de relativement faibles niveaux dans toutes les régions (figures 23 et 24). Si les relevés du crabe des neiges reflètent davantage les prédateurs dans l'habitat du crabe des neiges (par opposition aux relevés du poisson de fond), la biomasse de la raie épineuse (figures 25 et 26) et de la raie tachetée (figures 27 et 28) pourrait être plus importante dans toutes les zones qu'on ne l'avait cru auparavant.

Dans de nombreuses autres régions, il a été démontré que la morue franche est un prédateur important du crabe des neiges (Bailey 1982; Burgos *et al.* 2013; Chabot *et al.* 2008; Lilly 1984; Orensanz *et al.* 2004; Robichaud *et al.* 1989, 1991). Boudreau et ses collaborateurs (2011) suggèrent que l'effet des influences descendantes de la morue franche sur le crabe des neiges du Canada atlantique est plus répandu chez les crabes des neiges juvéniles et subadultes plus âgés. Inversement, les études sur le régime alimentaire des organismes du plateau néo-écossais n'ont pas démontré que la morue franche est un prédateur fréquent du crabe des neiges (tableau 8). De plus, les populations de morue franche de l'EPN sont actuellement à des niveaux d'indice de biomasse réduits dans toutes les régions par rapport aux niveaux historiques (figures 29 et 30). L'aiglefin peut représenter une source supplémentaire croissante de prédation dans des zones localisées du sud-est la Nouvelle-Écosse, en particulier dans la ZPC 4X (figures 31 et 32).

La seule espèce prédatrice fortement associée au crabe des neiges en raison de son abondance était la plie canadienne, probablement en raison de la différence dans les préférences d'habitat des autres espèces prédatrices (figures 33 et 34). En raison de sa petite taille et de son mode d'alimentation, la plie canadienne ne peut consommer que du crabe des neiges de stade précoce. On a signalé la prédation du crabe des neiges par des calmars et d'autres crabes (Bundy 2004); toutefois, on ne connaît pas leurs impacts relatifs.

Les niveaux de prédation sur les petits crabes immatures sont également susceptibles d'augmenter avec le rétablissement de certaines populations de poissons de fond (d'après les relevés du crabe des neiges) et le changement des champs de température. On trouve de fortes densités locales de poissons de fond dans les zones où l'on trouve de petits crabes immatures en fortes densités. Un changement dans la structure de taille des populations de prédateurs (vers une taille de corps plus grande) pourrait modifier la prédation pour inclure également les crabes des neiges plus gros, surtout pendant la période qui suit immédiatement la mue. La prédation par les poissons de fond semble être une source croissante de mortalité pour le crabe des neiges dans l'EPN.

Les pêcheurs considèrent les phoques comme des prédateurs possibles du crabe des neiges, et un bon nombre de ces pêcheurs sont préoccupés par la hausse constante de l'abondance des phoques (figure 35; MPO 2017a). Des études sur l'alimentation des phoques gris au début des années 1990 (Bowen et Harrison 1994) ont révélé la présence d'espèces de crabes dans moins de 1 % des échantillons de fèces de phoques examinés, l'alimentation de ces derniers étant principalement axée sur le lançon, la morue franche et les poissons plats. On a effectivement trouvé à l'occasion du crabe des neiges dans des estomacs de phoque gris, et il faut également savoir qu'une partie des plus fortes concentrations de crabe des neiges se

---

trouve actuellement dans les environs immédiats de l'île de Sable, une région où on trouve une très grande abondance de phoques gris. Toutefois, il semble y avoir actuellement peu de données probantes indiquant une influence négative des phoques sur la population de crabe des neiges. Les phoques et d'autres mammifères marins ont peut-être une influence positive sur cette population en important physiquement des aliments et des déchets alimentaires (Katona et Whitehead 1988) de zones éloignées de l'île de Sable vers le voisinage immédiat de l'île de Sable, « alimentant » ainsi indirectement les crabes des neiges et éliminant également des prédateurs potentiels (à la fois lors des premiers stades pélagiques et des stades benthiques).

## **INFLUENCES ASCENDANTES (LIMITATION DES RESSOURCES)**

Les influences ascendantes font référence aux changements dans une population en raison de la disponibilité des ressources (nourriture). Des études sur l'alimentation et des observations sur le terrain (Hooper 1986) indiquent que les principaux aliments du crabe de plus grande taille (adulte) sont les suivants, par ordre d'importance : les échinodermes, les vers polychètes (*Maldane* sp., *Nereis* sp.) et d'autres invertébrés, les détritiques, le gros zooplancton, les crevettes, les petits crabes juvéniles (crabe commun, *Cancer irroratus*; le crabe des marais, *Hyas coarctatus*; le petit crabe des marais, *Hyas araneus*), le quahog nordique (*Artica islandica*), les mollusques bivalves (p. ex. *Mytilus edulis*, *Modiolus modiolus*), les étoiles fragiles (*Ophiura sarsi*, *Ophiopholis aculeata*) et les anémones de mer (*Edwardsia* sp., *Metridium senile*). On a observé que le crabe des neiges de plus petite taille se nourrit des organismes suivants, par ordre d'importance : des échinodermes, des vers polychètes, du gros zooplancton, des détritiques et des bivalves (p. ex. *Mytilus edulis*, *Modiolus modiolus*, *Hiatella arctica*). Squires et Dawe (2003) ont démontré que les crabes mâles semblent être des prédateurs plus efficaces que les femelles et qu'ils consomment plus de petits poissons. Des études ont également démontré que le cannibalisme existe au sein des populations de crabes des neiges. Le cannibalisme entre les cohortes est sélectif quant à la taille, les individus des stades 8 et 9 étant les prédateurs dominants des individus de stade 1 (Emond *et al.* 2015). Il est également très répandu chez les crabes femelles de taille moyenne (morphométriquement) matures (Sainte-Marie et Lafrance 2002; Squires et Dawe 2003). Ce comportement cannibalique peut créer une source importante de mortalité liée à la densité.

Si l'on se base sur la prolifération du crabe des neiges à partir des années 1990, la concurrence en matière de ressources ne semble pas avoir été un facteur limitant.

En 2017, les niveaux annuels de chlorophylle *a* étaient inférieurs à la normale dans l'est du plateau néo-écossais et proches des niveaux moyens à long terme dans l'ouest du plateau néo-écossais. Le moment de la floraison printanière du phytoplancton était variable et était d'une ampleur moindre sur le plateau néo-écossais, avec une floraison plus longue dans la région centrale et près de la moyenne dans le reste de la zone (MPO 2018b). Le changement dans la structure des espèces de zooplancton sur le plateau néo-écossais s'est poursuivi en 2017, avec une faible abondance de *Calanus finmarchicus*, riche en énergie, même si l'intensité a diminué à partir de 2016.

La répartition de la crevette nordique (*Pandalus borealis*) sur le plateau néo-écossais semble demeurer vaste (figure 36); toutefois, les densités de crevettes selon les relevés du crabe des neiges (figure 37) et les résultats des évaluations de stocks spécifiques (MPO 2019) indiquent que le stock de l'EPN est dans un état critique, comparativement aux niveaux historiques.

## **INFLUENCES LATÉRALES (CONCURRENCE)**

Les influences latérales (et internes) font référence aux interactions concurrentielles avec les poissons de fond et d'autres espèces de crabes, au cannibalisme et à la mortalité (directe et indirecte) due à la reproduction. Le régime alimentaire du crabe des neiges chevauche celui de

---

certaines espèces de poissons de fond; par conséquent, l'effondrement des stocks de ces espèces à la fin des années 1980 et au début des années 1990 aurait été doublement avantageux pour le crabe des neiges, puisque cela aurait réduit la pression exercée par les prédateurs et la lutte pour la disponibilité des ressources. La répartition spatiale du crabe des neiges chevauche celle des ophiures, des holothuries, du lançon, du capelan et du crabe-araignée. Certaines de ces espèces pourraient être les concurrents du crabe des neiges pour la nourriture et l'espace de l'habitat. On ne retrouve aucun lien négatif marqué entre le crabe des neiges et d'autres espèces de prises accessoires (Choi et Zisserson 2012), ce qui laisse croire à peu d'interactions concurrentielles. Les compétiteurs éventuels, le crabe lyre (figures 38 et 39) et le crabe nordique (figures 40 et 41), demeurent dans une aire de répartition relativement éparse et, par conséquent, ne semblent pas menacer actuellement la santé globale du stock de crabe des neiges. La croissance soutenue des populations de homards proches des côtes au cours des 10 dernières années (MPO 2017b) peut avoir pour effet d'augmenter la concurrence en matière de ressources (et même de prédation) pour les crabes des neiges juvéniles pour lesquels les préférences en matière d'habitat se recoupent avec celles du homard.

## MALADIES

On observe la maladie du crabe amer (MCA) chez les crustacés dans le monde entier, mais elle est plus fréquente dans l'hémisphère nord (Stentiford et Shields 2005). Le nom vient du goût amer (semblable à celui de l'aspirine) que prennent les animaux infectés une fois cuits, ce qui les rend invendables. Des infections chez le crabe des neiges ont été observées en Alaska, à Terre-Neuve, au Groenland et sur le plateau néo-écossais (Morado *et al.* 2010). Au Canada atlantique, on a observé des crabes des neiges atteints de cette maladie pour la première fois dans la baie de Bonavista en 1990 (Taylor et Khan 1995), bien que l'aire d'infection s'étende maintenant du sud du Labrador au sud des Grands Bancs. Les animaux infectés sont rares sur les côtes sud et ouest (Dawe *et al.* 2010) de Terre-Neuve dans les eaux les plus proches de l'est du plateau néo-écossais. Les niveaux de salinité et la température de l'eau, ainsi que les courants océaniques (qui influencent la répartition des larves de crabe et de *Hematodinium* d'origine hydrique), sont des facteurs limitants potentiels de la prévalence de la maladie (Morado *et al.* 2010). On a observé des crabes des neiges infectés pour la première fois sur le plateau néo-écossais lors du relevé au chalut du crabe des neiges de 2008, et il y a eu quelques signalements anecdotiques de crabes infectés parmi les prises commerciales dans les zones côtières avant 2008. Le relevé d'automne est avantageux pour la détection, car on s'attend à ce que les animaux infectés pendant la mue printanière montrent des signes visibles d'infection avant l'automne. Il peut être difficile de détecter l'infection lors de l'examen visuel des crabes qui en sont aux premiers stades de l'infection (et qui ne montrent pas encore de signes visibles) plus tôt dans une année donnée.

Cette maladie est causée par un dinoflagellé parasite du genre *Hematodinium*. Il infecte l'hémolymphe (sang) d'un animal, la dominant progressivement, ce qui réduit le nombre d'hémocytes dans le sang et la capacité de l'organisme à transporter l'oxygène. L'infection semble survenir pendant la mue et presque toutes les infections semblent toucher des crabes qui ont mué au cours de la dernière année (nouvelle carapace). Il y a une probabilité plus élevée d'infection chez les crabes juvéniles, car ils muent fréquemment. On ignore si les animaux infectés par l'*Hematodinium* développeront toujours la maladie. La MCA est considérée comme étant mortelle et on suppose qu'elle entraîne la mort de l'organisme hôte dans l'année qui suit. Les animaux infectés semblent léthargiques ou sans vie et ont une apparence plus rougeâtre (« cuite »), une carapace dorsale avec une apparence ventrale opaque ou crayeuse et une hémolymphe laiteuse. Selon sa gravité, l'infection est facilement identifiable visuellement. Certains chercheurs considéraient que l'épreuve de réaction en chaîne de la polymérase (PCR) effectuée en laboratoire sur un échantillon d'hémolymphe fixé à l'alcool

---

était le test définitif de la contamination animale; cependant, l'utilisation de cette approche semble à la fois coûteuse et peu fiable pour le crabe des neiges de l'EPN. D'après l'expérience d'observation et le caractère saisonnier des relevés, l'identification visuelle est maintenant considérée comme la méthode la plus fiable.

Le nombre d'animaux visiblement infectés est demeuré constant et les niveaux sont restés faibles, les taux de prévalence avoisinant 0,05 % (tableau 9). On a observé que la MCR touchait les deux sexes dans toutes les zones (figure 42) sur une large gamme de tailles (LC de 20 à 100 mm; Choi et Zisserson 2012), mais généralement, chez des animaux immatures en dessous de la taille commerciale réglementaire (figure 43). À ce jour, on n'a pas encore observé de crabes à carapace plus vieille (adultes) atteints de la MCA dans la région. Cela indique que l'infection peut être liée à la mue et qu'elle augmente considérablement les taux de mortalité. La nature pulsée des populations de crabe des neiges de l'est du plateau néo-écossais peut faire grimper les taux d'infection apparents lorsque des segments plus importants de la population se retrouvent dans des classes de plus petite taille.

## **INFLUENCES ANTHROPIQUES**

Les influences anthropiques sont une combinaison complexe des influences dominantes susmentionnées exercées directement et indirectement sur le crabe des neiges. La pêche dirigée du crabe des neiges est abordée dans la section suivante (évaluation des pêches). D'autres formes d'influences anthropiques y sont abordées.

### **Prises accessoires de crabe des neiges dans d'autres pêches**

La répartition spatiale de la crevette nordique (*Pandalus borealis*) coïncide en grande partie avec celle du crabe des neiges, de sorte que cette pêche représente une source potentielle de mortalité supplémentaire du crabe des neiges par des prises accessoires. L'utilisation de chaluts par l'industrie de la pêche à la crevette est particulièrement préoccupante, car ils peuvent causer des dommages concomitants au crabe des neiges, en particulier ceux qui sont susceptibles d'être écrasés, comme le crabe à carapace molle ayant subi une mue récemment. Cela est préoccupant, car les zones où la pêche à la crevette est très active sont les mêmes que celles où les taux de prise et les débarquements de crabe des neiges sont les plus élevés. Des études dirigées sur la mortalité ou les dommages à la carapace de crabes des neiges causés par les chaluts à crevettes à Terre-Neuve ont conclu que la pêche à la crevette n'avait pas causé de mortalité ou de dommages importants (Dawe *et al.* 2007).

La pêche côtière du homard (*Homarus americanus*) peut également représenter une source de mortalité chez les femelles juvéniles et adultes du crabe des neiges dans certaines régions, car des signalements anecdotiques suggèrent que des crabes sont capturés dans des casiers et utilisés illégalement comme appâts. Les pêcheurs ont déclaré que cette situation était plus fréquente dans la ZPC 4X, ainsi que dans certaines zones limitées le long de la côte est de la Nouvelle-Écosse au début de la saison du homard en avril. La présence de prises accessoires de crabes des neiges dans les casiers à homard ne se produit généralement que lorsque les températures froides du fond coïncident avec les efforts de pêche du homard dans les zones côtières.

De plus, des prises accessoires de crabe des neiges dans les sennes danoises ont été signalées de façon anecdotique par les pêcheries limitées de poissons plats sur le plateau néo-écossais, bien que cette méthode de pêche soit rarement utilisée actuellement.

---

## Prises accessoires d'autres espèces dans la pêche du crabe des neiges

Les estimations des prises accessoires d'autres espèces observées en mer dans les prises commerciales de la pêche du crabe des neiges dans l'EPN peuvent être extrapolées à l'ensemble de la flotte en fonction des débarquements et de la proportion des débarquements observés (tableaux 10 et 11). En 2018, les observateurs en mer n'ont pas suivi le protocole de déclaration approprié pour les pêches du nord-est et du sud-est de la Nouvelle-Écosse; il est donc impossible de produire des estimations fiables des prises accessoires par espèce pour les pêches de 2018 dans ces régions. Un échantillonnage approprié des prises accessoires a été effectué dans la ZPC 4X pour la pêche de 2017–2018. Afin d'obtenir une approximation des niveaux totaux de prises accessoires, on a appliqué la moyenne sur trois ans des prises accessoires (0,016 % des débarquements) aux débarquements de 2018. Dans l'est du plateau néo-écossais, un total de 6 806 t de crabe des neiges a été débarqué en 2018, avec des prises accessoires connexes estimées (en se fondant sur les niveaux moyens sur 3 ans) à 1,1 t.

Le total estimé des prises accessoires dans la ZPC 4X était de 0,2 t, lié à 55 t de débarquements de crabe des neiges (0,4 %). La ZPC 4X affiche traditionnellement des taux de prises accessoires plus élevés (par rapport à l'est de la Nouvelle-Écosse) en raison de densités plus faibles de crabe des neiges de taille commerciale et d'une plus grande diversité des espèces dans certaines zones de pêche. En 2013 et 2014, les taux de prises accessoires dans la ZPC 4X étaient anormalement élevés (par rapport aux saisons précédentes) en raison de taux de prise très faibles et de l'accroissement des efforts pour localiser le crabe des neiges de taille commerciale. Ces activités de recherche augmentent l'effort de pêche dans les lieux de pêche non traditionnels où la densité d'espèces autres que le crabe des neiges est plus élevée. Le resserrement extrême de l'effort de pêche à la partie la plus à l'est de la ZPC 4X depuis 2015 a probablement entraîné une baisse des prises accessoires.

La faible incidence des prises accessoires dans les prises commerciales de la pêche du crabe des neiges de l'EPN peut être attribuée à ce qui suit.

- Conception des pièges (les pièges coniques à entrée par le haut excluent de nombreuses espèces de poissons).
- Nature passive des engins de pêche par rapport à d'autres types d'engins, tels que les chaluts (ce qui augmente également la survie des rejets de prises accessoires).
- Grand maillage des filets-trappes (d'au moins 5,25 po de nœud à nœud).

Les prises accessoires de toutes les zones sont généralement composées d'autres espèces d'invertébrés (p. ex. crabe épineux [*Lithodes maja*] et homard) pour lesquels un taux de survie plus élevé que celui des poissons à nageoires peut être attendu après une remise à l'eau. Dans l'est de la Nouvelle-Écosse, le loup à tête large et le loup tacheté – deux espèces inscrites sur la liste de la *Loi sur les espèces en péril* (LEP) avec le statut « espèce menacée » – ont été observés dans les prises accessoires de la pêche au cours d'au moins une des trois saisons de pêche de 2015 à 2017. Au cours de ces trois saisons, on a observé des loups à tête rayée (« espèce préoccupante » inscrite sur la liste de la LEP). Les prises des trois espèces se situaient à des niveaux extrêmement bas. Leur prévalence dans les prises de crabe des neiges continuera d'être surveillée.

## Exploration et exploitation pétrolières et gazières

L'exploration et l'exploitation pétrolières et gazières se poursuivent sur le plateau néo-écossais, à proximité ou en amont des principaux lieux de pêche et des zones de concentrations du crabe des neiges tant du nord-est que du sud-est de la Nouvelle-Écosse. L'industrie pétrolière et gazière utilise des levés sismiques pour trouver des zones où il existe un potentiel en hydrocarbures sous le fond marin (Breeze et Horsman 2005). Les effets de l'exploration

---

sismique des ressources extracôtières en pétrole et en gaz sur les composantes potentiellement vulnérables de la population de crabes des neiges (p. ex. œufs, larves et crabes à carapace molle) ainsi que sur le comportement et le développement à long terme de cette espèce à grande longévité restent encore inconnus (DFO 2004; Boudreau *et al.* 2009; Courtenay *et al.* 2009). Des signalements anecdotiques suivant l'exploration sismique qui a eu lieu en novembre 2005 dans la zone de la fosse de Glace Bay et dans les eaux peu profondes du Sydney Bight (Hunt Oil 2005; Husky Energy 2010), où abondent généralement les crabes immatures et les crabes femelles, semblent révéler que l'activité sismique a pu avoir une incidence négative sur la population de crabes des neiges se trouvant à proximité du programme d'exploration. L'Office Canada–Nouvelle-Écosse des hydrocarbures extracôtiers (OCNEHE), l'organisme de réglementation qui supervise l'industrie pétrolière au large des côtes de la Nouvelle-Écosse, a lancé un appel d'offres pour l'exploration extracôtière dans le nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse en 2019–2021 (figure 44) dans le cadre de son plan triennal actuel (OCNEHE 2019). La zone d'exploration potentielle pour 2019 est un bloc à l'ouest de l'île de Sable. L'exploration potentielle pour 2020 est un grand bloc à l'ouest du Gully qui comprend l'île de Sable et un important habitat pour le crabe des neiges. Deux blocs d'exploration sont ouverts aux soumissions pour une exploration en 2021. Le bloc au large se trouve le long du bord sud du plateau continental à l'est de la zone de protection marine du Gully, tandis que le bloc côtier est entièrement couvert par le sud-est de la Nouvelle-Écosse. Toutes les zones d'exploration potentielles chevauchent l'habitat des crabes des neiges juvéniles, femelles ou de taille commerciale. S'il y a une future exploration sismique dans les zones au large occupées par le crabe des neiges, il faudra peut-être évaluer les incidences potentielles sur l'espèce.

### **Câbles sous-marins**

Les câbles sous-marins sont une autre source de préoccupation pour les pêcheurs, en particulier les câbles sous-marins du projet Maritime Link dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse. Deux câbles sous-marins à haute tension à courant continu d'une longueur d'environ 180 km relient maintenant le cap Ray, à Terre-Neuve-et-Labrador, et la pointe Aconi, en Nouvelle-Écosse (Emera 2013), pour transporter l'électricité du projet de centrale hydroélectrique dans le cours inférieur du fleuve Churchill. Ces câbles ont été posés au printemps 2017, directement dans des zones productives de pêche du crabe des neiges du nord-est de la Nouvelle-Écosse. Les deux câbles de quatre pieds de diamètre sont espacés d'au moins deux fois la profondeur de l'eau à un endroit donné. Le creusement de tranchées jusqu'à au moins un mètre sous le fond marin par fluidification benthique à jet spécifique à l'espace (trajet de 20 cm pour chaque câble; EMERA 2016) devrait réduire la probabilité de création d'une barrière physique au déplacement, par opposition à d'autres méthodes plus destructrices et expansives de creusement de tranchées pour câbles. Les câbles peuvent créer un obstacle au déplacement normal du crabe des neiges à travers les champs magnétiques statiques (ou les champs électriques induits associés) ou l'augmentation de la température (générée par la résistance de l'écoulement dans les câbles). Ces câbles ont été mis sous tension en janvier 2018. Emera Newfoundland and Labrador a mené un relevé par émissions magnétiques au début du mois de mai. Les résultats indiquent que l'intensité des champs magnétiques mesurés sur place est inférieure aux émissions prévues par les modèles (J.-M. Nicholas, , EMERA Newfoundland and Labrador, communication personnelle). À l'heure actuelle, aucun renseignement ne peut être présenté pour décrire les effets de ces éléments sur le crabe des neiges.

Des efforts d'étiquetage supplémentaires sont entrepris dans ce domaine depuis 2013 (voir la section sur les déplacements plus haut) par le MPO et par Emera. Ce marquage fournira des renseignements supplémentaires sur les déplacements du crabe des neiges à l'intérieur et à l'extérieur de cette zone avant et après l'installation du câble sous-marin.

---

## Indicateurs socioéconomiques

Un changement cohérent dans de nombreux indicateurs socioéconomiques s'est produit au milieu des années 1990, en même temps que les changements à grande échelle dans l'EPN (voir la figure 13, Choi et Zisserson 2012). En général, la démographie de la Nouvelle-Écosse s'est déplacée vers une population plus âgée et plus riche avec le vieillissement des « baby-boomers ». La taille totale de la population a également augmenté par rapport aux records historiques pour atteindre environ 953 869 personnes en 2017, ainsi qu'une tendance vers une population ayant un niveau de scolarité plus élevé. Le produit intérieur brut (PIB) de la Nouvelle-Écosse a également augmenté, tout comme le PIB associé à l'exploitation pétrolière et gazière et le nombre de navires de croisière qui visitent Halifax. Ces changements démographiques sont associés à une demande biologique accrue de ressources halieutiques, localement et à l'exportation.

Parmi les indicateurs les plus liés à la pêche, on note une importance accrue de la pêche aux invertébrés avec la disparition du poisson de fond au début des années 1990, à la fois en termes de débarquements totaux et de valeurs débarquées des pêches. Le nombre de fermetures de secteurs coquilliers a augmenté avec le temps. Toutefois, l'importance relative de la pêche pour le PIB de la Nouvelle-Écosse et le nombre total de pêcheurs ont tous deux diminué.

Les espèces pêchées ont beaucoup changé depuis le début des années 1990, parallèlement aux changements rapides dans la structure de dominance des espèces. Depuis ce temps, les débarquements totaux de poissons de fond ont diminué, passant de 281 kt en 1991 à 44 kt en 2017 pour la province de la Nouvelle-Écosse. De même, les débarquements de poissons pélagiques sont passés de 125 kt en 1990 à 46 kt en 2017. En revanche, les débarquements d'invertébrés sont passés de 111 à 168 kt depuis les années 1990, tout comme la valeur totale des débarquements pour l'ensemble des pêches, passant de 445 millions de dollars en 1990 à 1,4 milliard en 2017.

Les liens entre les changements socioéconomiques observés et les changements dans l'EPN sont complexes. Toutefois, il est important de se demander si les modifications de la structure sociale et économique peuvent contribuer à l'évolution continue de la gestion axée sur les écosystèmes et la précaution d'une pêche durable et viable du crabe des neiges. Il est certain que la transparence dans la gestion, la communication scientifique et l'unité des pêcheurs qui ont une vision à long terme de leur ressource peuvent certainement aider, comme cela a été le cas dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse après 2004 — un succès qui mérite d'être souligné. Le maintien et la promotion de ces déterminants positifs de l'intendance sont essentiels au maintien de la durabilité sociale, économique et écologique de cette pêche.

## Zones de protection marine

Le banc de Sainte-Anne a été désigné zone de protection marine (ZPM) en 2017 en vertu de la *Loi sur les océans*. La ZPM est subdivisée en quatre zones (figure 45). La majeure partie de la ZPM (zone 1) est une zone de protection centrale. Les trois autres zones (plus petites) sont appelées « zones de gestion adaptative », qui permettent une activité humaine limitée à l'intérieur de leurs limites. La présence d'un refuge où la pêche est interdite sert de zone de mise en jachère; cependant, si la protection est bénéfique de façon disproportionnée pour d'autres organismes (p. ex. des prédateurs ou des proies du crabe des neiges), les effets sur le crabe des neiges pourraient être mitigés. Les effets à long terme de la ZPM ne peuvent donc pas être déterminés en ce moment.

La ZPM du Gully est une zone de 2 364 km<sup>2</sup> à l'est de l'île de Sable; il s'agit du plus grand canyon sous-marin de l'est du continent nord-américain. Cette zone a été désignée comme ZPM en 2004, et elle est composée de trois zones de gestion distinctes, chacune ayant

---

certaines activités autorisées. La pêche au crabe des neiges n'est autorisée dans aucune de ces zones.

Le relevé du crabe des neiges se poursuit dans les ZPM du banc de Sainte-Anne et du Gully (par l'intermédiaire d'un processus d'approbation désigné) et fournit des données sur la présence simultanée du crabe des neiges et d'autres espèces dans ces zones. L'augmentation des prises d'échantillonnage (longueur, poids et analyse alimentaire des poissons) se produit aux stations de référence à l'intérieur et immédiatement à l'extérieur des limites de la ZPM.

Un « site d'intérêt » a été établi comme emplacement potentiel pour une ZPM le long de la côte sud de la partie continentale de la Nouvelle-Écosse, appelé le site d'intérêt des Îles de la côte est. Le processus de discussion et de consultation est en cours pour ce site. Si le site recevait cette désignation, comme proposé, cette zone aurait très peu (voire pas du tout) de chevauchement avec les efforts de pêche du crabe des neiges. Les limites actuellement prévues chevaucheraient également quelques stations de relevé du crabe des neiges.

## **PÊCHE**

### **Effort**

Dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse, une saison printanière a été introduite en 2008 dans le but de réduire la capture et la manipulation du crabe blanc et à carapace molle, et représente maintenant la majorité des efforts de pêche. Cette saison s'ajoutait à la saison estivale traditionnelle et les pêcheurs individuels peuvent pêcher pendant l'une ou l'autre des saisons (ou les deux). Après un essai réussi en 2008, les débarquements associés aux efforts de pêche printanière ont culminé à 91 % en 2010 et sont demeurés supérieurs à 65 % des débarquements depuis lors, à l'exception de 2014 et 2015 où les conditions de la glace de mer ont limité les efforts de pêche printanière (figure 46). L'effort total a augmenté dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse en 2018 (figure 2). L'effort de pêche de 2018 (figure 47) s'est concentré sur la tranchée d'eau profonde située le long de la côte nord-est du Cap-Breton (« secteur intérieur ») avec un certain effort dans la fosse de Glace Bay. Pour la première fois depuis 2012, des activités de pêche limitées ont eu lieu dans la partie la plus septentrionale du nord-est de la Nouvelle-Écosse le long de la limite de la ZPC 19 en 2017. Cela ne s'est pas reproduit en 2018. Le nombre de navires actifs dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse continue à diminuer lentement chaque saison de pêche (figure 48).

Dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, l'effort de pêche passe progressivement d'une pêche exclusivement hauturière à un mélange de zones de pêche hauturière (> 75 km) et côtière (figure 47), avec des débarquements plus importants en provenance des zones hauturières. En 2018, l'effort de pêche dans la ZPC 23 était principalement concentré sur les trous entre les bancs Misaine et Banquereau, bien que des efforts aient été observés dans la zone côtière/semi-hauturière des « mauvais voisins », particulièrement au printemps.

La ZPC 24 a continué à suivre un schéma d'effort de pêche qui s'éloigne de la zone située directement au nord de l'île de Sable, avec un effort accru à proximité de Canso et des bancs de Canso. Les efforts estivaux dans la ZPC 24 se sont concentrés sur le banc du Milieu. En 2017, l'effort de pêche (par rapport aux années précédentes) a été moindre dans la zone immédiatement adjacente à la ligne de démarcation de la ZPC 23, particulièrement dans les zones côtières. L'effort sur la ligne de démarcation a été accru en 2018. Dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, l'effort de pêche a été négligeable dans la partie la plus à l'ouest (le long de la « côte est ») de la ZPC 24 (à l'ouest de 61,5<sup>0</sup> longitude) et sur le bord du plateau continental. Cette absence d'efforts sur le bord du plateau est probablement due à une diminution de la biomasse (probablement due au réchauffement des températures au fond) associée à une augmentation des coûts de pêche requis pour opérer plus loin du rivage.

---

Dans les ZPC 23 et 24, en raison de fermetures de zones (« casiers à crevettes »), les pratiques de la pêche ont subi un chevauchement avec les activités de pêche de la crevette de printemps, car la flottille de pêche du crabe des neiges dispose d'un accès limité à certaines des zones de pêche du crabe des neiges les plus productives tout au long de cette saison. Lorsque ces zones sont ouvertes à la flottille de crabe des neiges au début de l'été, la majorité de l'effort de pêche se fait à l'intérieur de ces casiers à crevettes. Avant 2010, moins de 20 % des débarquements dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse avaient lieu avant le 1<sup>er</sup> juillet, alors qu'aujourd'hui, plus de 50 % des débarquements totaux se produisent régulièrement au cours de cette période du printemps. La ZPC 24 affiche constamment un pourcentage plus élevé de débarquements printaniers que la ZPC 23 (figure 46), ce qui indique peut-être que la ZPC 23 est touchée par les fermetures printanières de la « boîte à crevettes ».

Dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, le nombre de navires actifs affiche une tendance généralement à la baisse depuis 2009 (figure 48). Le nombre actuel de navires actifs est inférieur d'environ 50 % à celui de la période antérieure à 2010. Cette réduction est attribuable au fait que de nombreux titulaires de permis ont choisi de louer leur quota pour l'année plutôt que de le pêcher eux-mêmes. Cela soulève des préoccupations lorsque les capitaines et les équipages embauchés n'ont potentiellement aucun enjeu à long terme dans cette pêche. Ces personnes peuvent ne pas suivre les protocoles de manipulation appropriés pour le crabe rejeté, pêcher de façon stratégique pour éviter la capture de crabes à carapace molle et choisir de ne pas déclarer les crabes marqués essentiels aux études appropriées sur les déplacements. Le navire choisi pour pêcher le quota d'un titulaire de permis peut être motivé par le désir de maximiser les profits, avec peu d'intérêt pour l'expérience du capitaine et de l'équipage et d'égard pour la pêche axée sur la conservation.

Dans la ZPC 4X, l'effort de pêche a été concentré presque exclusivement au sud de Sambro, à proximité de la délimitation entre les ZPC et ZPC 24. (figure 47).

En 2018, un total de 12 000 et 52 300 casiers ont été levés dans le nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse, respectivement. En 2017–2018, un total de 4 600 casiers ont été levés dans la ZPC 4X (tableaux 2 à 4; figure 2).

## **Débarquements**

En 2018, les débarquements dans le nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse étaient respectivement de 742 t et de 6 064 t; pour la saison 2017–2018, les débarquements dans la ZPC 4X étaient de 55 t. Cela représente des baisses de 9 % (nord-est), 10 % (sud-est) et 31 % (4X) par rapport à l'année précédente (figures 3 et 49). Les TAC de 2018 étaient de 786 t (nord-est), 6 057 t (sud-est) et 110 t (4X). Le TAC n'a pas été atteint dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse et la ZPC 4X.

La majorité des débarquements du nord-est de la Nouvelle-Écosse provenaient de la tranchée intérieure, tandis que dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, on a observé une tendance spatiale de migration générale vers la côte des débarquements à partir de la saison 2017. Dans la ZPC 4X, les débarquements limités (2017–2018) se sont concentrés sur la délimitation avec la ZPC 24 (figure 49). Il n'y a pas eu de débarquement dans les zones du talus du sud-est de la Nouvelle-Écosse en 2018.

---

## Taux de prise<sup>1</sup>

Les taux de prise non normalisés étaient de 62 kg/casier levé dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse et de 116 kg/casier levé dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse en 2018, et de 12 kg/casier levé dans la ZPC 4X durant la saison 2017–2018. Cela représente une diminution de 31 % pour le nord-est de la Nouvelle-Écosse, une augmentation de 23 % pour le sud-est de la Nouvelle-Écosse et une diminution de 52 % pour la ZPC 4X (figure 4; tableaux 2–4) par rapport à l'année précédente. L'effet des TAC sur les taux de capture peut rendre difficile toute comparaison directe dans le temps et entre les zones de gestion.

Dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse, le taux de prise moyen pour 2018 était de 62 kg/casier, une diminution par rapport à 2017 (90 kg/casier). Les taux de prise du nord-est de la Nouvelle-Écosse sont inférieurs à la moyenne sur 15 ans (75 kg/casier; tableau 2; figure 4) et sont au niveau le plus bas depuis 2011. Les taux de prise dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse étaient plus élevés dans la région de la fosse de Glace Bay (surtout au printemps) que dans la région « intérieure » où les taux de prise étaient plus variables (figure 50). En 2017, les pêcheurs estimaient qu'une zone d'exclusion de 2 km de large à travers les crabiers productifs, en raison des activités de pose de câbles Emera, avait une influence négative sur les taux de prise; cette tendance à la baisse a toutefois continué en 2018. Les taux de prise de la pêche estivale ont été plus faibles que ceux de la pêche printanière de 2017 et 2018 (figure 51). Les taux de prise de la pêche printanière de 2018 ont affiché une tendance à la hausse avec le temps, mais ont diminué au cours de la pêche estivale. Ces dernières années, les taux de capture dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse ont été étroitement liés à la taille moyenne des crabes dans les prises plutôt qu'à leur abondance numérique (figure 52). En 2018, la dépendance des pêches à l'égard d'une nouvelle vague de recrutement, avec peu de gros crabes de taille commerciale existants, a fait baisser les taux de capture (en poids) et a entraîné le retrait de crabes supplémentaires pour maintenir les débarquements.

Les pêcheurs du nord-est de la Nouvelle-Écosse estimaient que le maintien de taux de prise élevés entre 2011 et 2016 indiquait une biomasse de crabe des neiges de taille commerciale beaucoup plus importante que ne l'indiquait nécessairement l'estimation de la biomasse fondée sur les relevés. Ils estimaient que la discordance entre le moment du relevé (automne) et celui de la pêche (printemps) était à l'origine de cet écart. Ces taux de capture élevés (> 100 kg/casier) ne sont plus maintenus.

Dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, le taux de prise moyen en 2018 était de 116 kg/casier, une augmentation par rapport aux taux de 2017 (94 kg/casier) et un taux qui dépasse la moyenne sur 15 ans de 103 kg/casier (tableau 3; figure 4). Les taux de prise ont augmenté à partir de 2017 dans chacune des deux ZPC du sud-est de la Nouvelle-Écosse, soit les ZPC 23 et 24. La ZPC 23 affiche des taux de capture annuels plus élevés depuis 2009, mais maintient une tendance très similaire de variation des taux de capture annuels, comme la ZPC 24. Les taux de prise étaient uniformément modérés/élevés dans la majorité des zones de pêche exploitées dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, les taux de prise étant plus élevés dans les trous d'eau profonde entre les bancs Misaine, Banquereau et Middle (figure 50). L'absence de taux de prise localisés faibles donne à penser que les pêcheurs ciblaient efficacement les zones d'abondance élevée et qu'ils évitaient la surexploitation des zones d'abondance plus faible. Les limitations de l'accès à toutes les zones de pêche causées par des exclusions temporelles (« boîtes à crevettes ») peuvent entraîner un épuisement localisé à court terme des lieux de pêche accessibles pendant les activités de pêche du printemps. L'examen des taux de capture

---

<sup>1</sup> Il faut garder à l'esprit les mises en garde concernant le fait que les taux de prise sont des indicateurs inappropriés de la biomasse exploitable, comme il est expliqué dans la section Méthodes ci-dessus.

---

hebdomadaires lors de la saison 2018 (figure 51) indique un taux de capture élevé à l'ouverture de la saison dans la ZPC 23. Cela est suivi d'une tendance générale à la baisse avec une nette reprise des taux de prise avec l'ouverture des « boîtes à crevettes » (fin juin) et d'une tendance à la baisse par la suite. Ces taux de capture initialement élevés à l'ouverture de la saison étaient dus à un nombre limité de navires actifs, avec des taux de prise universellement élevés. On observe des tendances relatives aux taux de prise similaires dans la ZPC 24 au cours de la saison. Cela suggère que les taux de capture sont touchés par l'accès limité aux zones de pêche causé par la fermeture saisonnière des « boîtes à crevettes ».

Dans toutes les régions, il est courant d'observer une forte divergence entre le taux de capture et la tendance de la saison au cours des dernières semaines de la saison. Pendant cette période, les efforts et les débarquements sont négligeables. Certaines prises dans les casiers ne sont pas conservées lors de la dernière sortie, car les quotas individuels ont été atteints.

Dans la ZPC 4X, le taux de capture moyen pour 2017–2018 était de 12 kg/casier (tableau 4; figure 4), le niveau le plus bas depuis 2003. Cela représente une diminution de 52 % par rapport à 2016–2017 et environ la moitié de la moyenne sur 14 ans de 25 kg/casier. Les taux de capture dans la ZPC 4X sont constamment inférieurs aux taux de capture dans le nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse. Les taux de prise hebdomadaires dans la ZPC 4X (figure 51) montrent généralement une tendance oscillante au cours de la saison. Cette oscillation est probablement causée par des niveaux d'effort variables, car la plupart des pêcheurs délaissent le crabe des neiges pour la pêche au homard à la fin du mois de novembre et reviennent à la pêche au crabe des neiges à la mi-janvier. De nombreux pêcheurs croient que le réchauffement et le refroidissement localisés des eaux qui sont causés par les conditions météorologiques (comme les températures extrêmes et la direction des vents sur terre ou en mer) exacerbent davantage ces fluctuations dans les taux de prise.

### **Présence d'observateurs en mer**

Dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse, le niveau de couverture par des observateurs en mer était de 4,9 % des débarquements (objectif de 5 %). Au total, on a observé 627 casiers levés (environ 5,3 % des casiers levés pendant la pêche commerciale). Dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, 4,7 % des débarquements ont été observés (objectif de 5 %). Au total, 2 426 casiers (environ 4,6 % des casiers levés pendant la pêche commerciale) ont été observés. Dans la ZPC 4X, lors de la saison de pêche 2017–2018, 7,3 % des débarquements ont été observés (objectif de 10 %). Au total, on a observé 211 casiers, soit 4,8 % des casiers levés pendant la pêche commerciale.

### **Condition de la carapace des prises et crabes à carapace molle**

Dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse, les crabes des catégories CC1 et CC2 représentent collectivement environ 28 % du total des captures (tableau 12; figure 53), comparativement à 12 % en 2017. Le passage à une pêche principalement printanière a réduit les prises de crabes des catégories CC1 et CC2, car ils sont moins capables de grimper dans les casiers plus tôt dans l'année en raison d'une mue récente. Le front d'une vague de recrutement, associé à une pêche estivale limitée, a entraîné une augmentation de la composante « carapace molle » (« blanche ») dans les prises. En 2018, les crabes des catégories CC1 et CC2 ont été observés par des observateurs en mer presque exclusivement durant la pêche estivale. L'incidence plus élevée de crabes à carapace molle durant la pêche estivale peut résulter d'un appauvrissement localisé de mâles à carapace dure plus forts et d'une plus grande capacité de capture des mâles à nouvelle carapace. Cette augmentation de l'apparition de crabes des catégories CC1 et CC2 appuie les constatations issues des relevés au chalut antérieurs indiquant que le front de la vague de recrutement allait se manifester dans l'industrie de la pêche. La proportion de crabes de la catégorie CC4 dans le volet observé de la pêche a diminué, ce qui confirme

---

l'absence d'une population résiduelle (des saisons précédentes) de crabes mâles de taille commerciale dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse. La quantité de crabes de la catégorie CC5 reste négligeable. La pêche a connu un passage vers des crabes à corps plus petits (figure 52), probablement en raison de la taille plus petite des crabes arrivant plus tôt à maturité lors d'une vague de recrutement.

L'incidence des prises de crabes à carapace molle dans la pêche estivale du nord-est de la Nouvelle-Écosse a atteint les niveaux les plus élevés observés en 10 ans (figure 54). Si l'on présume qu'il n'y a pas eu de recaptures et que les débarquements observés sont calculés au prorata du total des débarquements, cela équivaut à 188 t supplémentaires de crabes à carapace molle (environ 25 % des débarquements) qui sont rejetées, avec des mortalités potentiellement élevées dues à la manipulation. Cela représente une augmentation de l'incidence du crabe à carapace molle (environ 5 %) par rapport à 2017. Les captures de crabes à carapace molle ont eu lieu pendant la pêche estivale, où le taux de rejet des crabes à carapace molle a été estimé (basé sur la couverture des observateurs en mer) à 48 %. La maximisation des efforts de pêche au printemps, avec peu (ou idéalement pas) de pêche en été, permettra de limiter cette source de mortalité du crabe des neiges due aux prélèvements par la pêche. Cela est essentiel pour protéger toute augmentation future du recrutement interne dans la pêche à partir de la population de crabes du nord-est de la Nouvelle-Écosse.

Dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, la proportion de crabes de la catégorie CC1 demeure à des niveaux faibles (moins de 1 %) [tableau 13; figure 53]. La proportion de crabes de la catégorie CC2 dans les prises est demeurée constante par rapport à 2017, à environ 6 %. Les crabes de la catégorie CC3 ont dominé les prises (environ 85 %). Une diminution relative des crabes de la catégorie CC4 depuis 2017 pourrait dénoter la dépendance de la pêche à l'égard des crabes qui ont atteint la maturité au cours des deux dernières saisons, plutôt qu'une biomasse résiduelle plus ancienne. En 2018, les observateurs en mer ont rarement observé des casiers avec un pourcentage élevé de crabes à carapace molle (> 20 % en nombre) dans l'ensemble du sud-est de la Nouvelle-Écosse. Si l'on répartit les débarquements observés au prorata des débarquements totaux dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, cela équivaut à une mortalité additionnelle potentielle de 99 t (1,6 % des débarquements), ce qui correspond aux taux de 2017. Pour que cette mesure d'atténuation soit efficace, tous les membres de la flottille doivent éviter volontairement les zones où l'incidence du crabe commun est élevée.

Dans la ZPC 4X, pour la saison 2017–2018, les crabes des catégories CC1 et CC2 représentaient collectivement environ 17 % du total des captures (tableau 14; figure 53). Ce niveau est plus élevé que ce qui est habituellement observé dans la ZPC 4X. Dans les prises de taille commerciale, les crabes des catégories CC3 et CC4 étaient largement plus nombreux, avec un taux combiné d'environ 80 %. On croit que les conditions de réchauffement récentes, qui suivent un épisode d'eaux particulièrement chaudes en 2012–2013, pourraient avoir été préjudiciables à la population de crabes des neiges dans la ZPC 4X. La mortalité (directe et accidentelle) causée par ce réchauffement continue probablement à avoir une influence sur la composition en espèces et la structure des stocks dans la ZPC 4X. Les données de la ZPC 4X ne peuvent pas être comparées directement avec celles du nord-est et du sud-est de la Nouvelle-Écosse, car la saison de pêche hivernale n'a pas lieu en même temps. La pêche en automne et en hiver dans la ZPC 4X continue d'afficher des quantités négligeables de crabes à carapace molle.

### **Vieux crabe (CC5)**

Le crabe de la catégorie CC5 représentait une faible proportion des prises observées en mer en 2018 dans les fractions de taille réglementaire et sous-réglementaire, soit moins de 1 % dans toutes les zones (tableaux 12 à 14). Des proportions de crabes de la catégorie CC5 aussi faibles qu'indétectables ont été observées dans les relevés au chalut (tableaux 15 à 17).

---

L'augmentation des quantités de crabes sénescents (CC5) est signalée de façon anecdotique pour indiquer une sous-exploitation de la ressource. On n'a observé d'augmentation de ce genre dans aucune zone du plateau néo-écossais.

## ÉTAT DE LA RESSOURCE

### STRUCTURE SELON LA TAILLE

#### Mâles

Dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, la présence de petits crabes des neiges mâles immatures de presque toutes les tailles (LC de 30 à 95 mm) lors des relevés suggère que le recrutement dans la pêche est probable au cours des 4 ou 5 prochaines années et au-delà (figure 55). La faible abondance numérique de crabes dont la LC est inférieure à 30 mm dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse pourrait être due à une faible abondance ou à une faible capturabilité du chalut de trait à cette petite taille.

Dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse, la répartition selon la taille des crabes des neiges mâles semble comparable à celle de 2017, mais on constate moins d'individus adultes de grande taille. Le front d'une vague de recrutement a commencé à se manifester dans la pêche. On s'attend à ce que le recrutement à l'interne pour la pêche se poursuive au cours des trois prochaines années, bien que l'on soupçonne que la mortalité naturelle élevée du crabe des neiges dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse pourrait limiter ce recrutement.

D'après les résultats des relevés au chalut, le crabe des neiges de la ZPC 4X présente des profils de répartition selon la taille interannuelle qui sont erratiques, avec un potentiel de recrutement interne pour la pêche actuellement minime. On a observé peu de crabes des neiges de taille commerciale lors du relevé du crabe des neiges dans la ZPC 4X. Les déplacements ont possiblement été une source importante de crabe dans cette zone, et l'absence de tout effort de pêche commerciale dans la partie ouest de la ZPC 24 pourrait se traduire par des avantages pour la ZPC 4X. Les champs de température erratiques et les restrictions connexes de l'habitat viable du crabe des neiges dans la ZPC 4X créent de fortes incertitudes pour l'avenir des stocks de crabes des neiges de taille commerciale.

#### Femelle

Dans la ZPC 4X et dans le nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse, on a assisté à un recrutement important de crabes femelles dans le segment adulte (porteuses d'œufs) de la population de 2016 à 2018. Presque tous les crabes femelles sont maintenant matures (figure 56), et la production d'œufs et de larves devrait être élevée. Dans le nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse, les densités de crabes femelles adultes semblent être en déclin, ce qui pourrait indiquer une mortalité naturelle élevée pour ce segment de la population. Ces crabes peuvent être plus vulnérables à la prédation parce qu'ils sont plus petits que les crabes mâles adultes et constituent potentiellement une source de nourriture plus riche en énergie pour les prédateurs. Même si l'abondance des femelles adultes (porteuses d'œufs) est à son plus haut niveau ces dernières années, elle se situe à des niveaux inférieurs à ceux observés avant 2009.

La ZPC 4X est unique en ce qui concerne le potentiel de recrutement interne à partir de la production d'œufs. Le fait d'être en aval de toutes les autres zones de crabe augmente les chances d'établissement des larves dans la ZPC 4X, quelle que soit la population résidente de crabes femelles adultes. Les distributions de fréquence des tailles dans la ZPC 4X sont erratiques, avec moins de consistance interannuelle que dans le nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse. Les grandes fluctuations de température (avec la réduction de l'habitat qui en

---

découle), les différents champs de prédateurs associés aux eaux plus chaudes de la région et les déplacements potentiels à destination et en provenance de la ZPC 24 entraînent probablement l'instabilité apparente de la structure des tailles. Les déplacements du crabe à partir d'endroits traditionnels dans la ZPC 4X, en réaction à de tels changements de température et de prédation, peuvent également fausser les résultats des relevés interannuels.

## **SEX-RATIOS**

Lorsque le nombre relatif de crabes femelles adultes est élevé, la possibilité d'une limitation de la reproduction devient un problème de conservation. Cela est particulièrement problématique dans les zones fortement exploitées où il n'y a pas de grands mâles adultes capables de s'accoupler et de protéger les femelles plus petites et à maturité plus rapide. C'est le cas dans le sud du golfe du Saint-Laurent, où la limitation du nombre de mâles est un problème connu. Inversement, avec un très faible nombre relatif de femelles (observé de façon cyclique autour de 2003 et de 2013 dans l'ensemble de l'EPN), la production d'œufs et de larves est faible. La raison de ces longues périodes de faible potentiel reproductif dans l'EPN n'est pas connue. Les crabes des neiges femelles ne sont pas prélevés par la pêche, il ne s'agit donc pas d'un effet directement lié à la pêche. Une explication possible est la différence de pression de la prédation entre les crabes mâles et les crabes femelles, fondée sur les préférences d'habitat différentes pour les deux sexes et la taille plus petite des crabes des neiges femelles adultes. Le sex-ratio extrême représente un état reproductif malsain et constitue un problème de conservation à long terme. La discontinuité entre les tendances temporelles des pics de population des mâles et des femelles adultes peut être une force motrice derrière les tendances d'immigration ou d'émigration à grande échelle. Les crabes (en particulier les grands mâles) peuvent se déplacer pour trouver des femelles adultes. Cela semble avoir été le cas au début des années 2010 avec l'émigration de crabes mâles adultes du nord-est de la Nouvelle-Écosse vers la ZPC 19 voisine.

Il est très probable que le sex-ratio fluctuera naturellement dans le temps (figure 57), car les crabes des neiges femelles d'une classe d'âge donnée arriveront à maturité deux à quatre ans plus tôt qu'un mâle de la même classe d'âge. On croit aussi que les femelles ont une espérance de vie plus courte et une durée de vie totale plus courte. De telles oscillations naturelles sont particulièrement évidentes lorsque de fortes classes d'âge dominent une population, comme ce fut le cas dans l'EPN. Dans cet écosystème, les sex-ratios du crabe des neiges adulte oscillent avec des nombres relativement élevés de femelles en 1996, en 2007 et de nouveau en 2017, avec un passage majeur au début des années 2000 et encore au début des années 2010 (figures 57 et 58). On prévoit un creux similaire au début des années 2020. Dans le nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse, les sex-ratios (pourcentage de femelles parmi les individus adultes) en 2018 sont à leur plus haut niveau des 10 dernières années. Cette augmentation reflète la diminution de la population de mâles et l'augmentation du nombre de femelles adultes. Le sex-ratio des crabes adultes de la ZPC 4X augmente de façon constante depuis 2014, probablement en raison de la diminution de l'abondance des crabes mâles adultes.

Le sex-ratio du crabe des neiges immature (figures 59 et 60) diminue dans toutes les régions depuis 2016. Cela est dû au fait que les crabes femelles de la récente vague de population arrivent à maturité avant les mâles de la même cohorte d'âge, ce qui réduit le sex-ratio chez les individus immatures tout en augmentant le sex-ratio chez les individus adultes.

Les profils spatiaux des sex-ratios sont généralement distincts : les mâles immatures (en bleu) sont plus nombreux dans les zones centrales de l'est de la Nouvelle-Écosse, tandis que les femelles immatures (en rouge) sont plus nombreuses dans les zones bordées d'eau chaude, sur les marges géographiques des aires de répartition du crabe des neiges du plateau néo-écossais (figure 60). Lorsque cette ségrégation spatiale est observée, les crabes mâles et femelles sont probablement exposés à des effets de prédation différentiels. Les femelles immatures sont probablement la proie de poissons et d'autres macro-invertébrés (y compris

---

d'autres crabes des neiges femelles, d'autres espèces de crabes et des homards) qui favorisent les habitats aquatiques plus chauds. Cette tendance serait exacerbée par le dimorphisme sexuel du crabe des neiges, car les mâles deviennent plus gros et échappent ainsi à une partie de la prédation liée à la taille à laquelle les femelles plus petites seraient exposées.

## **ABONDANCE NUMÉRIQUE DES FEMELLES<sup>2</sup>**

Les tendances liées au nombre de femelles immatures et matures capturées lors des relevés au chalut ont été variables d'une zone à l'autre (figures 61–64). Dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse, la densité de crabes femelles immatures a augmenté de façon constante de 2009 à 2014 et est en baisse depuis. La maturation de ces crabes immatures a commencé en 2015 et s'est poursuivie en 2018, réduisant la composante immature de la population de femelles (figure 61), mais augmentant la composante mature (figure 63). Dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, le nombre de crabes femelles immatures a atteint des sommets historiques en 2006. Depuis 2010, on observe une tendance générale à la baisse quant à l'abondance numérique de crabes femelles immatures (figure 61). On a observé une tendance à la baisse du nombre de crabes des neiges femelles adultes dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse de 2008 à 2015 (figure 63). Comme dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse, la maturation d'une vague de crabes femelles a commencé en 2016 et a augmenté l'abondance numérique des crabes femelles adultes (figure 56).

D'après la structure par taille de la population, l'abondance des femelles matures devrait diminuer dans les quatre à cinq prochaines années. Comme il existe actuellement peu de crabes immatures, l'abondance numérique des femelles immatures devrait augmenter, en fonction de la réussite des reproductions à grande échelle et de la survie des larves.

Le nombre de femelles immatures dans la ZPC 4X a chuté par rapport au sommet de 2010. Le nombre de crabes femelles immatures est resté constant (à des niveaux faibles) au cours des quatre dernières années. L'abondance des crabes femelles adultes a augmenté depuis 2016 (figure 63). Cette augmentation peut être due à des changements dans la répartition des crabes liés à la température (dans les zones ayant fait l'objet d'un relevé) ou à une augmentation artificielle des estimations de densité découlant de la réduction du nombre total de stations de relevé dans la ZPC 4X.

La plupart des crabes femelles se trouvent principalement dans les zones peu profondes le long des côtes de la partie continentale de la Nouvelle-Écosse et dans les zones extracôtières (figures 62 et 64). Chez les crabes des neiges femelles, les individus immatures semblent avoir une répartition plus diffuse que les individus adultes (figures 62, 64 et 65).

La maturation des crabes femelles immatures dans le nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse en 2016 et 2017 a accru la production potentielle d'œufs (figure 66). La production d'œufs supérieure à la moyenne devrait se poursuivre pendant un à trois ans dans toutes les zones, car les individus récemment arrivés à maturité s'accouplent et produisent des portées d'œufs. Une ponte d'œufs plus importante chez le crabe multipare (par opposition au crabe primipare) devrait stimuler davantage la production d'œufs.

## **COMPOSANTE EXPLOITABLE DE LA POPULATION**

La figure 67 illustre les tendances d'après les relevés de la moyenne géométrique brute (non ajustée en fonction de l'habitat ou d'autres facteurs) de crabe des neiges de taille commerciale

---

<sup>2</sup> La plupart des catégories de crabe des neiges sont probablement sous-estimées, car les corrections de capturabilité ne sont pas appliquées. Leur utilisation prévue consiste donc uniquement à comparer les tendances relatives dans le temps.

---

(mâles, adultes dont la LC > 95 mm). L'approche stmv produit des estimations de la biomasse de la zone grâce à l'expansion aérienne des prises des relevés (figure 68) pour produire l'indice de la biomasse tiré des relevés. Dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse, les densités de biomasse exploitable les plus élevées semblaient moins concentrées en 2018 qu'en 2017 (figure 69). Dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, les densités semblaient plus concentrées. Dans la ZPC 4X, la poche de crabe exploitable restante est très proche de la délimitation entre la ZPC 4X et le sud-est de la Nouvelle-Écosse (figure 69). Le crabe des neiges de taille commerciale existe à de très faibles densités dans des endroits plus à l'ouest dans la ZPC 4X.

## **RECRUTEMENT**

La détermination quantitative des niveaux de recrutement à la biomasse exploitable est compliquée par un certain nombre de facteurs. Ceux-ci comprennent la dernière mue (le décalage temporel entre la mue du printemps et le relevé à l'automne) ainsi que l'incapacité à déterminer l'âge des crabes et à prédire l'âge auquel les crabes mâles auront leur dernière mue. En se fondant sur les histogrammes des fréquences de tailles de la population de crabes des neiges mâles, on prévoit un recrutement interne accru, bien que modéré, au cours de la prochaine année pour la pêche dans le nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse (figures 55 et 70). On s'attend à ce que le recrutement interne de la ZPC 4X demeure minime. La migration de crabes provenant de l'extérieur d'une zone donnée peut représenter le recrutement pour sa pêche, mais n'est pas fiable en raison de sa nature épisodique.

Dans le relevé, la présence de petits crabes des neiges mâles immatures dans le nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse (figure 55), couvrant presque toutes les tailles (de 30 à 95 mm), permet également de penser qu'il y aura probablement un recrutement interne dans la pêche au cours des trois ou quatre prochaines années, mais potentiellement à des taux décroissants en raison des faibles densités numériques des individus plus petits. La survie de ces derniers est essentielle afin que la pêche puisse réaliser ce recrutement. Toute mortalité (p. ex. prédation, environnement et maladies), émigration ou mue à une taille inférieure à la taille réglementaire aura une incidence sur ce potentiel de recrutement.

D'après la distribution de la fréquence des tailles dérivée des relevés au chalut, on voit que le potentiel de recrutement interne dans la pêche est limité dans la ZPC 4X au cours des deux ou trois prochaines années. Les déplacements ont possiblement été une source importante de crabe dans cette zone, et l'absence de tout effort de pêche commerciale dans la partie ouest de la ZPC 24 pourrait se traduire par des avantages pour la ZPC 4X. L'irrégularité des températures dans la ZPC 4X crée de fortes incertitudes pour l'avenir des stocks de crabes des neiges de taille commerciale.

## **MODÈLE D'ÉVALUATION DES STOCKS**

Le modèle de production logistique illustré ici sert d'heuristique pour coupler les débarquements et les estimations de biomasse à partir de la modélisation spatio-temporelle décrite ci-dessus afin de décrire de façon simpliste la productivité du système et d'ajuster l'échelle de la biomasse par rapport aux débarquements (voir l'annexe 3 pour plus de renseignements). Il existe une incertitude considérable à l'égard des estimations actuelles de la biomasse par l'approche stmv. La variabilité interannuelle et les tendances observées dans d'autres indices (densités de capture des relevés, taux de capture, etc.) sont fortement atténuées ou absentes dans l'indice modélisé de la biomasse des relevés. Les tentatives visant à affiner encore cette approche d'évaluation des stocks n'ont pas encore donné de résultats totalement cohérents.

Comme cet indice de relevé constitue l'entrée de base pour l'abondance dans le modèle de pêche, conjugué aux débarquements limités par les TAC, les paramètres qui en résultent, comme la capacité de charge, la biomasse exploitable modélisée et la mortalité par pêche, sont

---

très incertains et peu fiables. La prudence est de mise dans l'interprétation et l'utilisation de ces valeurs pour leur application à des stratégies de récolte potentielles.

Les distributions postérieures pour  $K$ ,  $r$ ,  $q$  et l'erreur de processus ( $bp.sd$ ) ont été mises à jour par rapport aux distributions antérieures, ce qui donne à penser que les données ont servi à l'élaboration du modèle (figures 71 à 76). Les estimations du taux de croissance médian de la population,  $r$ , étaient de 0,999 pour le nord-est de la Nouvelle-Écosse, de 0,821 pour le sud-est de la Nouvelle-Écosse et de 0,888 pour la ZPC 4X (figure 72), tandis que la capacité de charge (figure 74) pour le sud-est de la Nouvelle-Écosse (55,7 kt) est environ 10 fois plus élevée que pour le nord-est de la Nouvelle-Écosse (4,85 kt), en raison principalement des différences dans les aires de l'habitat propice au crabe (figure 20). Il y avait également des différences dans le coefficient de capturabilité ( $q$ ) pour le nord-est et le sud-est de la Nouvelle-Écosse avec des estimations respectives de 0,64 et 1,07 (figure 75). Ces différences dans  $q$  peuvent refléter la capacité relative de l'indice de la biomasse exploitable du relevé à décrire avec précision la biomasse du stock. Les distributions postérieures de l'erreur de processus ( $bp.sd$ ) sont illustrées à la figure 74 et l'erreur d'observation ( $bo.sd$ ), à la figure 75.

Les estimations médianes de  $F_{RMD}$  étaient de 0,499 pour le nord-est de la Nouvelle-Écosse, de 0,411 pour le sud-est de la Nouvelle-Écosse et de 0,444 pour la ZPC 4X (figure 76).

## **BIOMASSE EXPLOITABLE**

L'indice de la biomasse exploitable modélisée du crabe des neiges après la saison de pêche (figure 77) dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse était estimé à 3 203 t, contre 3 358 t en 2017. Dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, l'indice de la biomasse exploitable après la saison de pêche était de 33 190 t, par rapport à 32 040 t en 2017. Dans la ZPC 4X, la biomasse exploitable modélisée avant la saison de pêche était de 403 t, par rapport à 354 t en 2017. L'estimation de la biomasse dans la ZPC 4X est généralement plus incertaine, car elle varie de façon plus importante qu'à d'autres endroits, probablement en raison de fluctuations de températures plus importantes et de la migration potentielle à l'intérieur et à l'extérieur de la zone.

## **MORTALITÉ PAR PÊCHE**

L'estimation de la mortalité par pêche ( $F$ ) dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse pour 2018 est de 0,24 (taux d'exploitation de 0,21), soit une augmentation par rapport à 0,17 en 2017 (figure 78).

L'estimation de  $F$  dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse pour 2018 est de 0,22 (taux d'exploitation de 0,20), en baisse par rapport à 0,26 en 2017 (figure 78). Les taux d'exploitation localisés sont probablement plus élevés, car toutes les zones dont la biomasse est estimée ne sont pas exploitées (p. ex. les eaux du talus continental, et à l'ouest, les eaux côtières de la ZPC 24); des débarquements illégaux ont également été signalés dans ce secteur.

L'estimation de  $F$  dans la ZPC 4X pour 2017–2018 est de 0,23 (taux d'exploitation de 0,21), soit une diminution par rapport à 0,26 en 2016–2017 (figure 78). Il est probable que les taux d'exploitation localisés soient plus élevés, étant donné que les taux d'exploitation estimés tiennent compte de la biomasse de l'ensemble de la ZPC 4X et pas uniquement des lieux de pêche.

## **MORTALITÉ NATURELLE**

Wade et ses collaborateurs (2003) ont indiqué que les taux de mortalité instantanée des crabes des neiges mâles du sud du golfe du Saint-Laurent dont la LC était de 95 mm ou moins se situaient entre 0,26 et 0,48. Les estimations de la mortalité naturelle des crabes femelles adultes ont été estimées entre 0,66 et 0,78 dans le nord du golfe du Saint-Laurent (Drouineau

---

*et al.* 2013). Pour les femelles benthiques de stade précoce (c.-à-d. crabe des neiges non pêché, sexe indéterminé), la mortalité instantanée peut être proche de 1 (Kuhn et Choi, 2011). Ainsi, l'ampleur de la mortalité par pêche (des crabes mâles) semble généralement plus faible que celle de la mortalité naturelle, et la mortalité naturelle semble être plus élevée chez les femelles adultes que chez les crabes mâles adultes. Les études sur l'alimentation (Bundy, 2004; voir aussi la section Influences descendantes [prédation]) indiquent qu'il semble y avoir très peu de prédateurs naturels pour les grands crabes des neiges (c.-à-d. de taille réglementaire) dans l'EPN. C'est particulièrement le cas depuis la disparition de la plupart des grands poissons de fond prédateurs de la partie est de l'EPN. La prolifération du flétan atlantique dans l'EPN constitue une source croissante de mortalité naturelle pour les crabes des neiges de toutes tailles.

Parmi les autres facteurs de mortalité potentiels, mentionnons : la maladie (comme la maladie du crabe amer, dont on constate la présence dans l'EPN à de faibles niveaux depuis 2008); les phoques (près de l'île de Sable; voir les arguments contraires dans les considérations liées à l'écosystème ci-dessus); la mortalité due à la manipulation des crabes à carapace molle; les débarquements illégaux; les prises accessoires dans les autres pêches (casiers à homard et à autres crabes, pêche à la palangre, filets maillants et chalutage); les activités associées à diverses autres activités humaines telles que l'exploration et l'exploitation des réserves pétrolières et gazières, de même que la construction de tranchées associées à l'installation de pipelines ou de câbles sous-marins.

## APPROCHE DE PRÉCAUTION

Dans le cadre de la gestion des ressources naturelles, l'approche de précaution désigne l'importance accordée à la prise de décisions éclairées en tenant compte des incertitudes et en évitant les risques. Comme les écosystèmes naturels sont intrinsèquement complexes, des imprévus peuvent se produire et se produisent en fait souvent (p. ex. Choi et Patten, 2001). Des renseignements sur l'approche de précaution et les mises en garde relatives à sa mise en œuvre sous la forme de règles de contrôle des prises (RCP) simplistes se trouvent à l'annexe 2.

Les principaux outils de gestion des pêches sont le contrôle de l'effort de pêche et des prélèvements. En général, le fait de réduire les prises et l'effort de pêche devrait améliorer l'état des stocks ou le contexte de l'écosystème. Au MPO, cela a été officialisé dans la détermination des points de référence et des RCP (annexe 2).

## POINTS DE RÉFÉRENCE ET RÈGLES DE CONTRÔLE DES PRISES

La population de crabe des neiges dans l'EPN n'est ni à l'état d'équilibre ni près de l'être. Par conséquent, les estimations de paramètres dérivées du modèle logistique fournissent au mieux des estimations de premier ordre des véritables points de référence biologiques (voir la section Méthodes; figures 71 à 76).

Les points de référence opérationnels associés à la pêche au crabe des neiges dans les divisions 4VWX sont indiqués ci-dessous.

- **Point de référence inférieur du stock** : 25 % de la capacité de charge estimée.
- **Point de référence supérieur du stock** : 50 % de la capacité de charge estimée.
- **Taux d'exploitation de référence** : Ne doit pas dépasser  $F_{RMD}$  (où F représente la mortalité par pêche de la population de mâles adultes de taille commerciale réglementaire et RMD, le rendement maximal durable).

- 
- **Taux d'exploitation de référence cible** : 20 % de la biomasse exploitable ( $F = 0,22$ ). Des indicateurs contextuels secondaires servent à modifier les taux de récolte entre 10 et 30 % de la biomasse exploitable (de  $F = 0,11$  à  $F = 0,36$ ).

Les règles de contrôle des prises (figure 79) sont indiquées ci-dessous.

- Biomasse exploitable > point de référence supérieur du stock : Un taux d'exploitation cible entre 10 et 30 % est utilisé, selon les renseignements contextuels fournis par des indicateurs secondaires.
- Point de référence inférieur du stock < biomasse exploitable < point de référence supérieur du stock : Un taux d'exploitation cible entre 0 et 20 % est utilisé, selon les renseignements contextuels obtenus à partir des indicateurs secondaires.
- Biomasse exploitable < point de référence inférieur du stock : La pêche est fermée jusqu'au rétablissement (au moins jusqu'à ce que la biomasse exploitable soit supérieure au point de référence inférieur du stock).

**Compte tenu de l'incertitude entourant les estimations actuelles de la biomasse exploitable (voir la section sur le modèle d'évaluation des stocks ci-dessus), ces indicateurs secondaires et contextuels doivent être fortement pris en compte.**

### **Limites actuelles des points de référence**

De nombreuses sources d'incertitudes et de nombreux défis sont associés à ces points de référence et au modèle biologique sous-jacent.

- Le modèle de projection des pêches est très simpliste et a mis l'accent sur une partie limitée de la population totale; les dynamiques intraspécifiques et interspécifiques compensatoires ne sont pas prises en compte. Il s'agit d'un modèle « tactique » pour les projections à court terme plutôt que d'un modèle « stratégique » pour la description biologique et la compréhension des exigences de conservation à plus long terme associées à l'approche de précaution.
- Il y a eu d'importants changements dans la capacité biotique dans la région : la période précédant l'effondrement des poissons de fond et la période subséquente empêchent l'émission d'une estimation de  $K$  (capacité de charge) avec des points de référence connexes.
- De grandes variations spatiales et temporelles de la force de recrutement empêchent une simple estimation du paramètre  $r$ .
- De grandes variations spatiales et temporelles des conditions environnementales augmentent l'incertitude dans les indices d'abondance et empêchent l'émission d'hypothèses raisonnables de taux fixe de mortalité naturelle/taux de croissance intrinsèque.
- De fortes variations spatiales et temporelles de l'abondance des prédateurs, particulièrement aux stades biologiques benthiques précoces (juvéniles) et pélagiques du crabe des neiges, empêchent l'émission d'une simple hypothèse d'un taux de mortalité naturelle fixe/taux de croissance intrinsèque.
- Le cannibalisme, surtout par les femelles matures dès les premiers stades benthiques, entraîne une plus grande instabilité dynamique et empêche l'émission d'une hypothèse sur un taux de mortalité naturelle constant/taux de croissance intrinsèque.
- Selon des sources de données anecdotiques, les débarquements illégaux pourraient être importants et variables au fil du temps. Cela n'est pas pris en compte.

- 
- Les activités d'échantillonnage à différents points des cycles biologiques annuels créent des problèmes de capturabilité/biais variables.
  - Le cycle vital est complexe.

Par conséquent, voici les priorités de recherche relatives à la formulation de points de référence appropriés supplémentaires :

- Décrire l'influence de l'environnement sur les caractéristiques du cycle biologique (mue, accouplement, production d'œufs) et l'intégrer à un modèle plus raisonnable sur le plan biologique.
- Peaufiner le modèle de pêche et l'indice de relevé.
  - Intégrer les prédateurs et les proies au modèle de pêche.
  - Intégrer les paramètres de croissance et les variables  $r$ ,  $K$ .
- Déterminer les lieux de frai et les pouponnières, qui sont essentiels.
- Peaufiner les estimations sur la production de larves.
- Décrire le déplacement en milieu benthique et pélagique/la connectivité.
- Décrire le rôle de l'environnement/du climat et les interactions prédateur-proie sur le taux de survie des larves pélagiques et benthiques.

On a créé l'approche stmv pour tenter de régler certains des enjeux ci-dessus. On déploiera des efforts supplémentaires pour améliorer cette nouvelle orientation de l'évaluation des stocks.

## RECOMMANDATIONS

### REMARQUES GÉNÉRALES

1. La capture de crabes à carapace molle était faible depuis plusieurs saisons, mais elle a considérablement augmenté dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse au cours de la saison 2018. Cela demeure un enjeu qui exige une diligence constante dans toutes les zones de pêche. Le calendrier des efforts de pêche (pêches hivernale et printanière) peut aider à éviter les périodes traditionnellement associées à des captures élevées de crabes à carapace molle. Étant donné qu'une pêche estivale a toujours lieu, les réactions opportunes de l'industrie pour éviter la pêche dans les zones à forte incidence de crabes à carapace molle doivent continuer à s'améliorer si l'on veut éviter une mortalité inutile des recrues. Depuis 2010, afin d'encourager les mesures d'évitement rapide, on a mis en œuvre des cartes interactives GoogleEarth™ représentant les crabes à carapace molle que l'on peut trouver sur le [site Web du crabe des neiges de l'est de la Nouvelle-Écosse](#).
2. On peut améliorer la longévité de la biomasse exploitable (et, par conséquent, la stabilisation de la pêche) en pêchant uniquement du crabe morphométriquement mature. Les arguments en faveur de cette approche sont énoncés ci-dessous.
  - a. En pêchant les crabes adultes, on leur permettrait de s'accoupler puisque la saison de pêche est généralement postérieure à la saison de reproduction (dans l'est de la Nouvelle-Écosse, mais pas dans la ZPC 4X). On réduirait ainsi la sélection naturelle darwinienne pour une maturation précoce, laquelle constitue un danger à long terme pour toute pêcherie qui récolte des individus adultes.
  - b. La capture de crabes immatures (à pinces atrophiées) réduit la longévité de la biomasse exploitable directement par rapport à la pêche des crabes matures seulement. L'écart de temps est de deux à trois ans, car les crabes immatures passent par des phases de

---

carapace molle et blanche qui les excluent de la pêche, ce qui prolonge la période de pêche à ce moment-là.

- c. Cibler spécifiquement les crabes adultes (mâles) est une stratégie d'exploitation optimale (crabes des catégories CC3 et CC4) étant donné que la biomasse exploitable est récoltée lorsqu'elle est « prête et maximisée ». Cela s'explique par le fait qu'il y a une augmentation importante du poids si on laisse les crabes immatures grandir et arriver à maturité (une augmentation de 250 à 400 %; figure 7).

Au cours de la saison 2019, une partie des crabes mâles dont la LC est de 95 mm ou plus seront encore composés d'individus immatures (figure 55). Ces crabes immatures deviendront les individus les plus gros (et les plus lourds) à l'avenir si on leur permet de grandir et de subir leur dernière mue. Ils continueront de contribuer à la reproduction, à la bonne santé génétique de la population et à représenter un crabe de grande qualité pour l'industrie. La récolte de cette composante de la biomasse capturable n'est pas recommandée.

3. Des signalements anecdotiques indiquent que des activités de pêche illégales et des déclarations erronées de prises continuent de se produire, surtout dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse. Les débarquements illégaux/non déclarés représentent une source supplémentaire de mortalité pour une population déjà soumise à des facteurs de stress externes tels que l'augmentation des températures et de la prédation. De telles activités déstabilisent l'approche de précaution à l'égard de la gestion des ressources et peuvent annuler les efforts consentis par l'industrie de la pêche du crabe des neiges pour assurer la stabilité à long terme de cette pêche. Cette question pourrait être abordée au moyen de communications ouvertes, de pressions exercées par l'industrie sur les parties contrevenantes et de nouvelles approches à l'application de la réglementation des pêches, comme la juricomptabilité et la surveillance de la production des installations de transformation du crabe.
4. Les tendances à la hausse des températures pourraient nuire à la santé générale et à l'abondance du crabe des neiges dans l'EPN. Cela peut créer une mortalité directe ou une émigration forcée dans les conditions extrêmes ou des changements de régime de l'écosystème affectant la disponibilité des proies, l'abondance des prédateurs, les processus biologiques, etc. Des changements qui influent sur le rôle relatif du crabe des neiges dans l'écosystème ont des effets au niveau de la population. Les niveaux de recrutement dans toutes les zones semblent inférieurs à ceux observés lors du dernier cycle de population (il y a environ 10 ans), probablement en raison de ces changements. Cette connaissance peut ne pas influencer directement les stratégies de pêche pour une année donnée, mais elle devrait souligner le fait que les prélèvements de la pêche sont une composante unique d'un système complexe. Les connaissances limitées sur l'ensemble du système doivent être prises en compte lorsque l'on envisage des stratégies de récolte.
5. Avant les résultats du relevé de 2016, les estimations de la biomasse exploitable étaient utilisées comme principal indice de la biomasse lors de l'examen des taux d'exploitation cibles possibles. Le modèle dynamique de la biomasse a été utilisé pour définir l'état du stock par rapport aux points de référence estimés du RMD. À partir de 2016, la biomasse modélisée obtenue à partir du modèle dynamique de la biomasse a été utilisée comme principal indicateur de la biomasse. Dans l'itération actuelle de ce modèle, l'indice de relevé (maintenant dérivé de stmv) est combiné aux débarquements pour fournir des estimations de la capacité de charge, de la mortalité par pêche et de la capturabilité ainsi qu'une estimation a posteriori de la biomasse exploitable moyenne. Les estimations de la biomasse exploitable moyenne qui en ont résulté étaient supérieures à l'indice de pêche stmv, en particulier dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse (valeur q inférieure). L'application du taux d'exploitation cible de la RCP de 10 à 30 % (dans la zone « saine ») à cette estimation

---

modélisée de la biomasse, par opposition à l'indice de relevé, a entraîné une augmentation spectaculaire des TAC dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse en 2017 (augmentation de 288 %). Ce TAC n'a été réduit que de 5 % en 2018. Depuis l'augmentation des TAC en 2017, les taux de capture ont diminué de plus de 40 %, après 6 années de taux de capture relativement élevés et stables. En 2018, le TAC n'a pas été atteint pour la première fois depuis 20 ans. L'application des fourchettes de taux d'exploitation cibles, comme définies par les RCP, doit être modérée par ce changement dans la méthodologie d'estimation de la biomasse. L'extrémité supérieure des fourchettes d'exploitation cibles est probablement trop élevée, en particulier dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse, où l'estimation de la biomasse modélisée est plus élevée que l'indice de relevé qui a été utilisé précédemment pour déterminer les taux d'exploitation cibles pour la prochaine saison de pêche.

6. La procédure d'estimation de la biomasse n'a pas pu être achevée en 2014 et 2015. Cela a nécessité un remaniement de l'approche d'estimation de la biomasse. L'introduction d'une nouvelle approche (« LBM ») pour l'évaluation de 2016 (relevé de 2016; pêche de 2017) a fourni des estimations de la biomasse avec notamment de grandes fluctuations interannuelles. L'affinement de l'approche pour aboutir à l'approche stmv actuelle (deux dernières années) a simplifié les entrées du modèle en limitant le nombre d'entrées environnementales et a ajouté un niveau de lissage temporel local. Les résultats de 2017 semblent avoir lissé de façon excessive la variabilité interannuelle, inhibant la capacité de l'indice de relevé à suivre les tendances de la biomasse. Les tentatives d'amélioration de l'indice de la biomasse stmv pour 2018 donnent encore des résultats hyperstables qui semblent être dus au fait que les covariables environnementales qui alimentent le modèle sont relativement stables (dans un contexte temporel plus large). Ces niveaux d'abondance stables sont incongrus avec la plupart des autres sources de données. Les résultats ne montrent pas les tendances cycliques de la population qui apparaissent dans d'autres sources de données, comme les densités de capture des relevés, les fréquences de longueur et les taux de capture des pêches.

**Cette disparité souligne l'importance d'utiliser toutes les sources de données accessibles (présentées ici) lors du choix des stratégies d'exploitation pour la prochaine saison de pêche.**

## **NORD-EST DE LA NOUVELLE-ÉCOSSE**

Dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse, la biomasse exploitable a atteint des niveaux historiquement bas en raison des forts taux d'exploitation et du faible recrutement, lui-même causé par la mortalité des crabes à carapace molle due à la manipulation dans le passé. Les prises de crabe à carapace molle ont considérablement augmenté (au point de devenir nuisibles) pendant la saison de pêche de 2018, presque exclusivement pendant la saison estivale. Il faut s'efforcer autant que possible de réduire davantage ou d'éliminer la pêche estivale afin de protéger le recrutement à venir.

L'augmentation de 288 % du TAC en 2017 et la réduction de 5 % en 2018 semblent avoir été une stratégie de pêche trop agressive. Les taux de prise ont diminué régulièrement au cours des deux dernières saisons pour atteindre leur niveau le plus bas depuis 2011. Le TAC n'a pas été atteint en 2018 pour la première fois depuis la mise en place des quotas individuels transférables et la suppression des limites de sous-zone.

La présence de grands crabes mâles est nécessaire pour la reproduction et la protection des femelles et de l'habitat occupé. Les faibles taux de prise (pêche et relevé), l'incidence accrue des crabes à carapace molle, l'augmentation de la prédation et l'incertitude entourant les estimations de la biomasse suggèrent qu'il faut faire preuve d'une extrême prudence lors de l'examen des stratégies de pêche.

---

Une approche plus prudente, qui réduit l'exploitation dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse, pourrait stabiliser les taux de prise, protéger le recrutement à venir (essentiel à la pêche) et permettre à la biomasse commerciale de se reconstituer.

## **SUD-EST DE LA NOUVELLE-ÉCOSSE**

L'approche de précaution à long terme adoptée par les pêcheurs du sud-est de la Nouvelle-Écosse depuis 2004 semble avoir permis de stabiliser davantage les niveaux de la biomasse commerciale. Cette stabilité est un élément important, compte tenu de l'évolution des écosystèmes et du caractère plus instable des populations mondiales de crabes des neiges.

Les réductions substantielles du TAC au cours des trois dernières saisons ont aidé à maintenir un rendement stable de la pêche (taux de prise) dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse, malgré la contraction de l'habitat, la réduction du recrutement et l'augmentation de la prédation. Les prises sont stables selon la moyenne géométrique des relevés et, d'après la structure du stock, il est probable qu'il y aura un recrutement accru dans la pêche au cours de la prochaine saison. Une stratégie de pêche modérément plus agressive serait appropriée dans ces conditions.

## **4X**

La ZPC 4X étant la zone la plus méridionale, dans l'Atlantique Nord, de la répartition du crabe des neiges, qui vit dans des environnements plus « marginaux » que les zones principales du sud-est et du nord-est de la Nouvelle-Écosse, une approche de précaution explicite devrait être employée dans cette pêche. En outre, l'incertitude associée à cette zone est augmentée en raison du très faible recrutement dans la biomasse exploitable et des grandes variations interannuelles de la température. L'épisode des températures au fond extrêmement chaudes de 2012–2013 a nui à la population de crabe des neiges de la ZPC 4X, qui n'a pas retrouvé son niveau d'abondance antérieur. Un TAC nul a été fixé pour la saison de pêche 2018–2019 en raison de la faible biomasse commerciale. Les prises effectuées lors du relevé du crabe des neiges indiquent que les niveaux de la biomasse commerciale dans la ZPC 4X demeurent très faibles, mais qu'ils se sont améliorés.

## **REMERCIEMENTS**

Les auteurs tiennent d'abord à remercier Grover Fisheries Ltd et les capitaines et l'équipage du *F/V Ms. Jessie* d'avoir fourni un environnement sûr et accueillant pour la réalisation du relevé. Les auteurs souhaitent remercier Leslie Nasmith et David Keith du MPO, région des Maritimes, qui ont procédé à un examen approfondi par les pairs. Adam Cook et Brad Hubley ont fourni des calculs et des conseils supplémentaires. L'aide à la rédaction fournie par le Centre des avis scientifiques de la région des Maritimes (notamment Lottie Bennet) a été précieuse lors de la préparation de ce document en vue de sa publication. Enfin, cette évaluation n'aurait pu être réalisée sans l'expérience, le temps, l'aide financière et l'attention sincère des détenteurs de permis de pêche du crabe des neiges et des pêcheurs du plateau néo-écossais.

## **RÉFÉRENCES CITÉES**

Agnalt, A.-L., Jørstad, K.E., Pavlov, V.A., and Olsen, E. 2010. [Recent Trends in Distribution and Abundance of the Snow Crab \(\*Chionoecetes opilio\*\). Population in the Barents Sea.](#); pp. 81–90. In: G.H. Kruse, G.L. Eckert, R.J. Foy, R.N. Lipcius, B. Sainte-Marie, D.L. Stram, and D. Woodby (eds.). *Biology and Management of Exploited Crab Populations under Climate Change*. Alaska, Sea Grant: University of Alaska, Fairbanks.

- 
- Bailey, R. 1982. Relationship Between Catches of Snow Crab, *C. Opilio* (O. Fabricius) and Abundance of Cod *Gadus morhua* L. in the Southwestern Gulf of St. Lawrence. Proceeding of the International Symposium on the Genus Chionoecetes, Alaska Sea Grant Report 82-10: 486-497.
- Biron, M., Moriyasu, M., Wade, E., DeGrace, P., Campbell, R., and Hebert, M. 1997. [Assessment of the 1996 snow crab \(\*Chionoecetes opilio\*\) fishery off eastern Cape Breton, Nova Scotia \(Areas 20-24 and 4X\)](#). DFO Can. Stock Assess. Sec. Res. Doc. 1997/102.
- Biron, M., Wade, E., Moriyasu, M., DeGrace, P., Campbell, R., and Hebert, M. 1999. [Assessment of the 1998 snow crab \(\*Chionoecetes opilio\*\) fisheries off eastern Nova Scotia \(Areas 20 to 24 \(and 4X\)\)](#). Canada. DFO Can. Stock. Assess. Sec. Res. Doc. 1999/12.
- Bivand, R., Keitt, T., and Rowlingson, B. 2016. [rgdal: Bindings for the Geospatial Data Abstraction Library](#), (R Package Version 1.2-5).
- Boudreau, M., Courtenay, S.C., and Lee, K. 2009. [Proceedings of a workshop held 23 January 2007 at the Gulf Fisheries Center. Potential Impacts of Seismic Energy on Snow Crab: An Update to the September 2004 Review](#). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2836: vii + 31 p.
- Boudreau, S., Anderson, S., and Worm, B. 2011. [Top-down interactions and temperature control of snow crab abundance in the northwest Atlantic Ocean](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. 429: 169-183.
- Boudreau, S.A., and Worm, B. 2012. [Ecological role of large benthic decapods in marine ecosystems: a review](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. 469: 195-213.
- Bowen, W.D., and Harrison, G.D. 1994. [Offshore diet of grey seals \*Halichoerus grypus\* near Sable Island, Canada](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. 112: 1-11.
- Breeze, H., and Horsman, T. (eds). 2005. [The Scotian Shelf: An Atlas of Human Activities](#). DFO/2005-816.
- Brodziak, J., and Link, J. 2002. [Ecosystem-based fishery management: What is it and how can we do it?](#) Ecosystem Management: What is it and how can we do it? Bull. Mar. Sci. 70: 589-611.
- Bundy, A. 2004. [Mass balance models of the eastern Scotian Shelf before and after the cod collapse and other ecosystem changes](#). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2520.
- Burgos, J., Ernst, B., Armstrong, D., and Orensanz, J.M. 2013. [Fluctuations in Range and Abundance of Snow Crab \(\*Chionoecetes Opilio\*\) from the Eastern Bering Sea: What Role for Pacific Cod \(\*Gadus Macrocephalus\*\) Predation?](#) Bull. Mar. Sci. 89: 57-81.
- Burmeister, A.D. 2010. [Assessment of Snow Crab in West Greenland 2011](#). Teknisk Rapport NR.83.
- Burmeister, A., and Sainte-Marie, B. 2010. [Pattern and causes of a temperature-dependent gradient of size at terminal moult in snow crab \(\*Chionoecetes opilio\*\) along West Greenland](#). Polar Biol. 2010 33: 775-788.
- Chabot, D., Sainte-Marie, B., Briand, K. and Hanson, J.M. 2008. [Atlantic cod and snow crab predator-prey size relationship in the Gulf of St. Lawrence, Canada](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. 363: 227-240.
- Choi, J.S., and Patten, B.C. 2001. [Sustainable Development: Lessons from the Paradox of Enrichment](#). J. Ecosyst. Health 7:163-178.
- Choi, J.S., Frank, K.T., Petrie, B., and Leggett, W.C. 2005a. [Integrated Assessment of a Large Marine Ecosystem: A Case Study of the Devolution of the Eastern Scotian Shelf, Canada](#). Oceanography and Marine Biology: An Annual Review. Oceanogr. Mar. Biol. 43: 47-67.
-

- 
- Choi, J., Zisserson, B., and Reeves, A. 2005b. [An assessment of the 2004 snow crab populations resident on the Scotian Shelf \(CFAs 20 to 24\)](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2005/028.
- Choi, J.S., and Zisserson, B.M. 2012. [Assessment of Scotian Shelf Snow Crab in 2010](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2011/110. viii + 95p
- Comeau, M., Conan, G.Y., Maynou, F., Robichaud, G., Therriault, J.C., and Starr, M. 1998. [Growth, spatial distribution, and abundance of benthic stages of the snow crab \(\*Chionoecetes opilio\*\) in Bonne Bay, Newfoundland, Canada](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55: 262–279.
- Conan, G.Y., Comeau, M., and Robichaud, G. 1992. Life History and Fishery Management of Majid Crabs: The Case Study of the Bonne Bay (Newfoundland) *Chionoectes opilio* Population. ICES Council Meeting Document 1992/K: 21–21.
- Cook, A.M., and Bundy, A. 2010. [The Food Habits Database: an update, determination of sampling adequacy and estimation of diet for key species](#). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2884.
- Cook, A.M., Zisserson, B.M., Cameron, B.J., and Choi, J.S. 2015. [Assessment of Scotian Shelf Snow Crab in 2014](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2015/068. vi + 119 p.
- Courtenay, S.C., Boudreau, M., and Lee, K. (editors). 2009. [Potential Impacts of Seismic Energy on Snow Crab: An Update to the September 2004 Peer Review](#). Environmental Studies Research Funds Report No. 178, Moncton: 181 p.
- Cressie, N. 1993. [Statistics for Spatial Data](#). Wiley-Interscience, New York, NY: 900 p.
- Dawe, E.G., Gilkinson, K.D., Walsh, S.J., Hickey, W., Mallowney, D.R., Orr, D.C., and Forward, R.N. 2007. [A study of the effect of trawling in the Newfoundland and Labrador northern shrimp \(\*Pandalus borealis\*\) fishery on mortality and damage to snow crab \(\*Chionoecetes opilio\*\)](#). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2752: 43 p.
- Dawe, E., Mallowney, D., Colbourne, E., Han, G., Morado, J.F., and Cawthorn, R. 2010. [Relationship of Oceanographic Variability with Distribution and Prevalence of Bitter Crab Syndrome in Snow Crab \(\*Chionoecetes opilio\*\) on the Newfoundland–Labrador Shelf](#); pp. 175–197. In: G.H. Kruse, G.L. Eckert, R.J. Foy, R.N. Lipcius, B. Sainte-Marie, D.L. Stram, and D. Woodby (eds.), Biology and Management of Exploited Crab Populations under Climate Change. Alaska Sea Grant, University of Alaska Fairbanks. doi:10.4027/bmecpcc.2010.06.
- Dawe, E., Mallowney, D., Moriyasu, M. and Wade, E. 2012. [Effects of temperature on size-at-terminal molt and molting frequency in snow crab \*Chionoecetes opilio\* from two Canadian Atlantic ecosystems](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 469 (November 26 2012): 279–296.
- DFO, 2004. [Potential Impacts of Seismic Energy on Snow Crab](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Habitat Status Report 2004/003.
- Diamond, J.M. 2005. [Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed](#). Penguin, New York, NY. 608 p.
- Diggle P.J., Ribeiro P.J., and Christensen O.F. (2003) [An Introduction to Model-Based Geostatistics](#). In: Møller J. (eds) Spatial Statistics and Computational Methods. Lecture Notes in Statistics, vol 173. Springer, New York, NY
- Drouineau, H., Sainte-Marie, B. and Duplisea, D. 2013. [Estimating natural mortality and egg production of snow crab \*Chionoecetes opilio\* adult females](#). Aquat. Biol. 18: 261–270.
-

- 
- Elner, R.W., and Beninger, P. 1995. [Multiple reproductive strategies in snow crab, \*Chionoectes opilio\*: Physiological pathways and behavioral plasticity](#). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 193: 93–112.
- Emera. 2013. [Newfoundland and Labrador Maritime Link Environmental Assessment Report](#). NSP Maritime Link Inc., Emera Newfoundland and Labrador Holdings Inc., St. John's, NL.
- Emera. 2016. [Maritime Link Project Installation of Subsea Cables - Cabot Strait: Construction Activity Update](#). NSP Maritime Link Inc., Emera Newfoundland and Labrador Holdings Inc., St. John's, NL.
- Emond, K., Sainte-Marie, B., Galbraith, P.S., and Bety, J. 2015. [Top-down vs. Bottom-up Drivers of Recruitment in a Key Marine Invertebrate: Investigating Early Life Stages of Snow Crab](#). ICES J. Mar. Sci. 72(5): 1336–1348.
- Evenden, G.I. 1995. [Cartographic Projection Procedures for the UNIX Environment - A User's Manual](#). Manual for PROJ 4.4.9. (Accessed 30 August 2018).
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1995. [FAO. Code of Conduct for Responsible Fisheries](#). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. ISBN 92-5-103834-5.
- Foyle, T., O'Dor, R., and Elner, R. 1989. [Energetically Defining the Thermal Limits of the Snow Crab](#). J. Exp. Biol. 145: 371–393.
- Hooper, R. 1986. [A Spring Breeding Migration of the Snow Crab, \*Chionoectes opilio\* \(O. Fabr.\), into Shallow Water in Newfoundland](#). Crustaceana 50: 257–264.
- Hunt Oil. 2005. CNSOPB Program # NS24-H33-1P. Hunt Oil Company of Canada, Inc. 2D Seismic. Contractor Geophysical Services Incorporated. Vessel *M/V Gulf Pacific*. Start Date 03-Nov-05. Total # Km's Acquired/ Projected 920.53 km / 940.25 km. Report Date 23-Nov-05 (program completed 20-November-2005).
- Husky Energy. 2010. CNSOPB. Husky Energy 2D Seismic / Petroleum Geo-Services *M/V Harrier Explorer*. July 1/10. 696.36 km / 597 km July 21/10 (program completed 21-July 2010).
- Katona, S. and Whitehead, H. 1988. [Are Cetacea Ecologically Important?](#) Oceanogr. Mar. Biol. Annual Reviews 26: 553–568.
- Koeller, P., Savard, L., Parsons, D., and Fu, C. 2000. [A Precautionary Approach to Assessment and Management of Shrimp Stocks in the Northwest Atlantic](#). J. Northwest Atl. Fish. Sci. 27: 235–246.
- Koeller, P., Covey, M., and King, M. 2006 [An Assessment of the Eastern Scotian Shelf Shrimp Stock and Fishery for 2005 and Outlook for 2006](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2006/001.
- Kuhn, P., and Choi, J.S. 2011. [Influence of Temperature on Embryo Developmental Cycles and Mortality of Female \*Chionoectes opilio\* \(Snow Crab\) on the Scotian Shelf, Canada](#). Fish. Res. 107: 245–252.
- Laurans, M., and Smith, M.T. 2007. Bayesian Production Model Assessment of Edible Crab in the English Channel. ICES Council Meeting Document. 2007/O:29.
- Lilly, G. 1984. Predation by Atlantic cod on shrimp and crab off north-eastern Newfoundland in autumn of 1977–82. ICES Council Meeting Document. 1984/G:53.

- 
- Morado, J.F., Dawe, E., Mullaney, D., Shavey, C., Lowe, V., and Cawthorn, R. 2010. [Climate Change and the Worldwide Emergence of Hematodinium-associated Disease: Is There Evidence for a Relationship?](#); pp. 153–173. In: G.H. Kruse, G.L. Rckert, R.J. Goy, R.N. Lipcius, B. Sainte-Marie, D.L. Stram, and D. Woodby (eds.) *Biology and Management of Exploited Crab Populations Under Climate Change*. Alaska Sea Grant, University of Alaska, Fairbanks, Alaska. doi:10.4027/bmecpcc.2010.08.
- MPO, 2006. [Stratégie de pêche en conformité avec l'approche de précaution](#). Secr. Can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2006/023.
- MPO. 2017a. [Évaluation du stock canadien de phoques gris de l'Atlantique Nord-Ouest \(\*Halichoerus grypus\*\)](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2017/045.
- MPO. 2017b. [Homard \(\*Homarus americanus\*\) au large de la côte atlantique de la Nouvelle-Écosse \(zones de pêche du homard 27 à 33\) : mise à jour de l'état du stock de 2017](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Rép. des Sci. 2017/026.
- MPO. 2018a. [Mise à jour de l'état du stock de flétan \(\*Hippoglossus hippoglossus\*\) du plateau néo-écossais et du sud des grands bancs dans les divisions 3NOPs4VWX5Zc de l'OPANO](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Rép. des Sci. 2018/022.
- MPO. 2018b. [Conditions océanographiques dans la zone Atlantique en 2017](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2018/039.
- MPO. 2019. [Évaluation de la crevette nordique de l'est du plateau néo-écossais \(ZPC 13-15\)](#). Secr. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2019/013.
- Mullaney, D., Morris, C., Dawe, E. et al. 2018. [Dynamics of snow crab \(\*Chionoecetes opilio\*\) movement and migration along the Newfoundland and Labrador and Eastern Barents Sea continental shelves](#). *Rev Fish Biol Fisheries* (2018) 28: 435.
- Nychka, D., Furrer, R., Paige, J., and Sain, S. 2015. [Fields: Tools for Spatial Data, \(R Package Version 8.10\)](#). University Corporation for Atmospheric Research, Boulder, CO, USA.
- OCNEHE (Office Canada–Nouvelle-Écosse des hydrocarbures extracôtiers) 2019. *Lands Management: Call for Bids Forecast Areas (2019–2021)*.
- Orensanz, J., Ernst, B., Armstrong, D.A., Stabeno, P., and Livingston, P. 2004. [Contraction of the Geographic Range of Distribution of Snow Crab \(\*Chionoecetes opilio\*\) in the Eastern Bering Sea: An Environmental Ratchet?](#) *Cal. Coop. Ocean. Fish.* 45: 67–79.
- Paine, R.T. 1966. [Food Web Complexity and Species Diversity](#) *Food Web Complexity and Species Diversity*. *Am. Nat.* 100: 65–75.
- Pubela, O., Sevigny, J.-M., Saint-Marie, B., Crethes, J.-C., Burmeister, A., Dawe, E.G., and Moriyasu, M. 2008. [Population Genetic Structure of the Snow Crab \(\*Chionoecetes opilio\*\) at the Northwest Atlantic Scale](#). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 65: 425–436.
- R Development Core Team. 2012. [R: A Language and Environment for Statistical Computing](#). R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. (Accessed September 4, 2018).
- Robichaud, D.A., Bailey, R.F.J., and Elnor, R.W. 1989. Growth and Distribution of Snow Crab, *Chionoecetes opilio*, in the Southeastern Gulf of St. Lawrence. *J. Shellfish Res.* 8: 13–23.
- Robichaud, D.A., Elnor, R.W., and Bailey, R.F.J. 1991. [Differential Selection of Crab \*Chionoecetes opilio\* and \*Hyas spp.\* as Prey by Sympatric Cod \*Gadus morhua\* and Thorny Skate \*Raja radiata\*](#). *Fish. Bull.* 89: 669–680.
-

- 
- Sainte-Marie, B., and Hazel, F. 1992. [Molting and Mating of Snow Crabs, \*Chionoecetes opilio\* \(\*O. Fabricius\*\), in Shallow Waters of the Northwest Gulf of St. Lawrence](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49: 1282–1293.
- Sainte-Marie, B. 1993. [Reproductive Cycle and Fecundity of Primiparous and Multiparous Female Snow Crab, \*Chionoecetes opilio\*, in the Northwest Gulf of Saint Lawrence](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50: 2147–2156.
- Sainte-Marie, B., Raymond, S., and Brethes, J.-C. 1995. [Growth and Maturation of the Benthic Stages of Male Snow Crab, \*Chionoecetes opilio\* \(Brachyura: Majidae\)](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 52: 903–924.
- Sainte-Marie, B., and Lafrance, M. 2002. [Growth and Survival of Recently Settled Snow Crab \*Chionoecetes opilio\* in Relation to Intra- and Intercohort Competition and Cannibalism: A Laboratory Study](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. 244: 191–203.
- Sainte-Marie B, Gosselin T, Sevigny JM, Urbani N (2008) [The Snow Crab Mating System: Opportunity for Natural and Unnatural Selection in a Changing Environment](#). Bull Mar Sci 83:131–161
- Shelton, P.A., and Sinclair, A.F. 2008. [It's Time to Sharpen our Definition of Sustainable Fisheries Management](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 65: 2305–2314.
- Squires, H.J., and Dawe, E.G. 2003. [Stomach Contents of Snow Crab \(\*Chionoecetes opilio\*\), Decapoda, Brachyura from the Northeast Newfoundland Shelf](#). J. Northwest Atl. Fish. Sci. 32: 27–38.
- Stan Development Team. 2015. Stan Modeling Language User's Guide and Reference Manual, Version 2.9.0.
- Stentiford, G.D., and Shields, J.D. 2005 [A Review of the Parasitic Dinoflagellates \*Hematodinium\* Species and \*Hematodinium\*-like Infections in Marine Crustaceans](#). Dis. Aquat. Organ. 66: 47–70.
- Taylor, D.M., and Khan, R.A. 1995. [Observations on the Occurrence of \*Hematodinium\* sp. \(Dinoflagellata: Syndinidae\), the Causative Agent of Bitter Crab Disease in Newfoundland Snow Crab \(\*Chionoecetes opilio\*\)](#). J. Invertebr. Pathol. 65: 283–288.
- UNCHE (United Nations Conference on the Human Environment). 1972. [Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment in Stockholm](#). United Nations Environment Programme. (Accessed 03 September 2015).
- UNCED (United Nations Conference on Environment and Development). 1992. [Agenda 21, Report of the United Nations Conference on Environment and Development](#). The Statement of Forest Principles, the United Nations Framework Convention on Climate Change and the United Nations Convention on Biological Diversity; Rio de Janeiro, 3–14 June 1992. A/CONF.151/26 (Vol. I).
- UNCLOS (United Nations Convention on the Law of the Sea). 1982. [Agreement relating to the implementation of Part XI of the Convention](#). Division for Oceans Affairs and the Law of the Sea, Office of Legal Affairs, United Nations. (Accessed September 4, 2018).
- UNFA (United Nations Fish Stocks Agreement). 2001. [The United Nations Agreement for the Implementation of the Provisions of the United Nations Convention on the Law of the Sea of December 10, 1982, Relating to the Conservation and Management of Straddling Fish Stocks and Highly Migratory Fish Stocks \(in Force as of From 11 December 2001\)](#). Division for Oceans Affairs and the Law of the Sea, Office of Legal Affairs, United Nations. A/CONF.164/37. (Accessed September 4, 2018).
-

- 
- Wade, E., Surette, T., Apaloo, J. and Moriyasu, M. 2003. [Estimation of mean annual natural mortality for adult male snow crab \*Chionoecetes opilio\* in the southern Gulf of St. Lawrence.](#) DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2003/017.
- Watson, J. 1972. [Mating Behaviour of the Spider Crab, \*Chionoecetes opilio\*.](#) J. Fish. Res. Board Can. 29: 447–449.
- WCED (World Commission on Environment and Development). 1987. [Our Common Future, Report of the World Commission on Environment and Development.](#) Development and International Co-operation: Environment. General Assembly Document A/42/427. (Accessed September 4, 2018).
- Webb, J.B., Eckert, G.L., Shirley, T.C., and Tamone, S.L. 2007. [Changes in Embryonic Development and Hatching in \*Chionoecetes opilio\* \(Snow Crab\) with Variation in Incubation Temperature.](#) Biol. Bull. 213: 67–75.
- Wood, S. 2006. [Generalized Additive Models: An Introduction With R.](#) CRC Texts in Statistical Science Series. Volume 67. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, FL.
- Worm, B., and Myers, R. 2003. [Meta-analysis of Cod-Shrimp Interactions Reveals Top-down Control in Oceanic Food Webs.](#) Ecology 84: 162–173.
- WSSD (World Summit on Sustainable Development). 2002. [Report of the World Summit on Sustainable Development.](#) Johannesburg, South Africa; 26 August–4 September 2002. A/CONF. 199/20. (Accessed September 4, 2018)
- Zisserson, B. 2015. [Maritimes Region Snow Crab Trawl Survey: Detailed Technical Description.](#) Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3128: v + 38 p.
- Zisserson, B., and Cameron, B. 2016. [Application of Acoustic Telemetry Tags on Snow Crab.](#) Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3169: v + 17 p.
- Zisserson, B., and Cook, A. 2017. [Impact of Bottom Water Temperature Change on the Southernmost Snow Crab Fishery in the Atlantic Ocean.](#) Fish. Res. 195: 12–18.

## TABLEAUX

*Tableau 1. Saisons de pêche du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais en 2018.*

Zone	Saison
Nord-est de la Nouvelle-Écosse	Du 14 avril au 13 mai et du 21 juillet au 18 août
Sud-est de la Nouvelle-Écosse (ZPC 23)	Du 1 <sup>er</sup> avril au 31 août
Sud-est de la Nouvelle-Écosse (ZPC 24)	Du 1 <sup>er</sup> avril au 31 août
4X	S.O. (aucune date n'a été fixée en raison de la décision d'établir un TAC nul)

*Tableau 2. Résumé des activités de pêche du crabe des neiges dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse*

Année	Permis	TAC (en t)	Débarquements (en t)	CPUE (kg/casier levé)	Effort (x 1 000 casiers levés)
2004	79	1 416	1 418	61	23,4
2005	78	566	562	31	18,4
2006	78	487	486	36	13,7
2007	78	244	233	24	9,9
2008	78	244	238	34	7,0
2009	78	576	579	76	7,6
2010	78	576	576	55	10,5
2011	78	534	536	110	4,8
2012	78	603	603	117	5,1
2013	78	783	783	106	7,4
2014	78	783	778	104	7,4
2015	78	620	619	103	6,0
2016	78	286	290	110	2,6
2017	78	825	813	90	9,0
2018	78	786	742	62	12,0

Tableau 3. Résumé des activités de pêche du crabe des neiges dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse

Année	Permis	TAC (en t)	Débarquements (en t)	CPUE (kg/casier levé)	Effort (x 1 000 casiers levés)
2004	130	8 241	8 022	106	76,0
2005	114	6 353	6 407	110	58,5
2006	114	4 510	4 486	91	49,4
2007	115	4 950	4 942	100	49,3
2008	115	8 316	8 253	96	85,9
2009	116	10 800	10 645	90	118,8
2010	116	13 200	13 150	103	128,3
2011	116	12 120	12 135	106	118,8
2012	116	11 707	11 733	98	120
2013	116	11 311	11 309	104	108,7
2014	116	11 311	11 267	112	100,2
2015	116	11 311	11 292	106	106,5
2016	116	9 614	9 606	106	90,6
2017	116	6 730	6 719	94	71,5
2018	116	6 057	6 064	116	52,3

Tableau 4. Résumé des activités de pêche du crabe des neiges dans la ZPC 4X. Un tiret (-) indique l'absence de données.

Année	Permis	TAC (en t)	Débarquements (en t)	CPUE (kg/casier levé)	Effort (x 1 000 casiers levés)
2004–2005	9	600	413	20	20,8
2005–2006	9	337,6	306	29	10,8
2006–2007	9	337,6	317	28	11,5
2007–2008	9	230	220	18	12,1
2008–2009	9	230	229	28	8,0
2009–2010	9	230	229	36	6,4
2010–2011	9	346	345	38	9,0
2011–2012	9	346	344	29	11,8
2012–2013	9	263	118	13	9,6
2013–2014	9	80	79	15	5,1
2014–2015	9	80	82	34	1,7
2015–2016	9	150	142	31	4,6
2016–2017	9	80	80	25	3,2
2017–2018	9	110	55	12	4,6
2018–2019 <sup>1</sup>	9	0	-	-	-

<sup>1</sup> Aucune pêche (TAC nul) en raison de la faible biomasse commerciale.

Tableau 5. Conditions de carapace du crabe des neiges et leur description. La dureté est mesurée à l'aide d'un duromètre.

Condition de carapace (CC)	Catégorie	Dureté	Description	Âge après la dernière mue (approximation)
1	Nouvelle et molle	< 68	Pincers faciles à plier, carapace molle, couleur vive, iridescente, sans épibiontes	De 0 à 5 mois
2	Propre	Variable	Pincers faciles à plier, carapace molle, couleur vive, iridescente, quelques épibiontes	De 5 mois à 1 an
3	Intermédiaire	> 68	Carapace dure, brun terne sur le dos, brun-jaune sur le ventre, pas d'iridescence, abrasion de la carapace, épibiontes	De 8 mois à 3 ans
4	Vieille	> 68	Carapace dure, très sale, un peu de décomposition aux articulations des pattes, quelques épibiontes	De 2 à 5 ans
5	Très vieille	Variable	Carapace molle, très sale, décomposition étendue, beaucoup d'épibiontes	De 4 à 6 ans

Tableau 6. Pose d'étiquettes spaghetti par année depuis 2010 (totaux depuis 2004). Les lignes représentent les résultats de tous les crabes des neiges marqués au cours d'une même année. Le déplacement moyen et maximal représente la moyenne et le maximum de la distance du trajet le plus court entre le point d'émission et le point de recapture des individus marqués. S.O. = Sans objet

Année	Étiquettes apposées	Étiquettes retournées	Étiquettes distinctes retournées	Déplacement moyen (en km)	Déplacement maximal (en km)	Nombre moyen de jours écoulés avant la recapture	Nombre maximal de jours écoulés avant la recapture	Moyenne des km/mois
2010	2 256	159	148	32,86	150,07	408,47	1 124	2,45
2011	1 789	107	106	59,89	259,67	541,43	2 278	3,37
2012	1 571	150	131	36,36	278,83	417,27	2 219	2,65
2013	3 910	373	337	40,89	503,97	607,52	1 572	2,05
2014	3 112	273	249	18,39	229,42	605,53	1 472	0,92
2015	1 929	172	160	20,25	231,85	386,52	1 125	1,59
2016	1 206	90	75	21,86	141,81	402,2	742	1,65
2017	1 318	41	38	10,30	65,46	96,95	364	3,23
2018	1 247	0	0	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.	S.O.
<b>Toutes les années/zones</b>	<b>23 766</b>	<b>1 867</b>	<b>1 726</b>	<b>27,22</b>	<b>504</b>	<b>463</b>	<b>2 278</b>	<b>1,79</b>

Tableau 7. Résumé des résultats du marquage par étiquette spaghetti par zone depuis 2004.

Zone	Étiquettes apposées	Étiquettes distinctes retournées	Déplacement moyen (en km)	Nombre moyen de jours écoulés avant la recapture	Moyenne des km/mois	Nombre de pêcheurs ayant retourné des étiquettes
Sud-est de la Nouvelle-Écosse	14 458	807	26,65	394	2,05	84
Nord-est de la Nouvelle-Écosse	8 337	821	30,04	554	1,65	69
4X	971	100	10,0	233	1,30	18

Tableau 8. Prédateurs du crabe des neiges dans l'est de la Nouvelle-Écosse au cours de la période de 1995 à 2016. « N estomacs » est le nombre d'estomacs examinés, « Fréq (%) » est le pourcentage d'estomacs contenant du crabe des neiges comme proie et « Poids (%) » est le pourcentage du poids total que représente le crabe des neiges comme proie. On a retiré toutes les espèces prédatrices pour lesquelles moins de 100 estomacs ont été échantillonnés afin d'éliminer le biais potentiel lié à la taille de l'échantillon.

Espèce prédatrice	N estomacs	Fréq (%)	Poids (%)
Loup atlantique	586	1,37	1,49
Flétan	673	1,34	1,18
Raie à queue de velours	546	0,92	1,49
Loquette d'Amérique	149	0,67	0,65
Chaboisseau à dix-huit épines	2 101	0,38	0,36
Morue	6 510	0,37	0,16
Raie épineuse	2 789	0,32	0,60
Hémitriptère atlantique	736	0,27	0,45
Raie tachetée	560	0,18	0,10
Merluche blanche	2 729	0,07	0,01
Plie canadienne	8 570	0,06	0,06
Aiglefin	4 777	0,06	0,02

Tableau 9. Prévalence de la maladie du crabe amer (MCA) sur le plateau néo-écossais. « Total des crabes » correspond au nombre de crabes examinés. « Crabes atteints de la MCA visible » représente les crabes indiqués comme étant contaminés. « Taux d'infection » est la proportion de crabes contaminés et « % de mâles » est la proportion de crabes atteints de la MCA (+) qui sont des mâles.

Année de relevé	Total des crabes	Crabes visiblement atteints de la MCA (+)	Taux d'infection (%)	% de mâles (MCA +)
2008	31 315	24	0,077	54
2009	29 168	33	0,113	61
2010	31 197	19	0,061	53
2011	24 852	22	0,089	59
2012	20 355	16	0,079	62
2013	21 715	16	0,074	56
2014	23 512	20	0,085	35
2015	19 749	20	0,101	55
2016	20 694	28	0,135	36
2017	15 453	13	0,084	54
2018	15 430	7	0,045	57

Tableau 10. Estimations des prises accessoires (en kg) de poissons et d'invertébrés provenant de la pêche du crabe des neiges à l'est de la Nouvelle-Écosse. Les estimations sont extrapolées à partir des prises accessoires observées en mer et de la biomasse des prises observées en mer (c.-à-d. biomasse estimée des prises accessoires = biomasse observée des espèces des prises accessoires/ [débarquements observés de crabe des neiges/débarquements totaux de crabe des neiges]). La pêche du crabe des neiges est propre à l'espèce, puisque les niveaux de prises accessoires sont extrapolés à environ 0,016 % des débarquements de crabe des neiges de 2015 à 2017 dans l'est de la Nouvelle-Écosse. **Il n'y a pas de données propres aux espèces accessibles pour 2018.**

Espèce	2015	2016	2017	Total sur 3 ans
Crabe commun	19	0	0	19
Morue	187	84	353	624
Crabe nordique	19	854	0	873
Crabe épineux	0	670	18	688
Crabe-araignée	0	84	35	119
Coraux mous	0	0	18	18
Ophiures	0	0	18	18
Oursin	0	33	18	51
Clypéastres	0	17	0	17
Étoile de mer pourpre	0	0	35	35
Concombres de mer	19	50	495	564
Buccin	0	17	0	17
Plie rouge	0	0	35	35
Lotte	0	0	35	35
Sébaste	75	50	247	372
Hémitriptère atlantique	37	33	0	70
Raie	0	67	18	85
Loup à tête large	112	17	0	129
Loup tacheté	0	0	194	194
Loup atlantique	149	100	371	620
Total des prises accessoires	617	2 076	1 890	4 583
<b>Débarquements de crabe des neiges</b>	<b>11 911 000</b>	<b>9 896 000</b>	<b>7 532 000</b>	<b>29 339 000</b>

Tableau 11. Estimations des prises accessoires (en kg) de la pêche du crabe des neiges dans la ZPC 4X. Les estimations sont extrapolées à partir des prises accessoires observées en mer et de la présence des observateurs en mer, par biomasse (c.-à-d. biomasse estimée des prises accessoires = biomasse observée des espèces des prises accessoires/[débarquements observés de crabe des neiges/débarquements totaux de crabe des neiges]). Les prises accessoires ont représenté 0,31 % du total des débarquements au cours des trois dernières années. L'étendue spatiale limitée de la pêche au cours des trois dernières saisons a produit des niveaux de prises accessoires inférieurs à ce qui était associé à une empreinte géographique antérieurement beaucoup plus grande.

<b>Espèce</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>Total sur 3 ans</b>
Homard	98	48	55	201
Morue	0	16	0	16
Crabe nordique	0	16	14	30
Crabe commun	0	0	14	14
Lompe	11	0	0	11
Crabe épineux	130	81	82	293
Sébaste	0	0	14	14
Hémitriptère atlantique	239	0	41	280
Total des prises accessoires	478	161	219	858
<b>Débarquements de crabe des neiges</b>	<b>142 000</b>	<b>80 000</b>	<b>55 000</b>	<b>277 000</b>

Tableau 12. Condition de carapace (CC) des crabes des neiges dont la largeur de carapace est de 95 mm ou plus (en pourcentage selon le nombre) au fil du temps pour le nord-est de la Nouvelle-Écosse à partir des données d'observation en mer.

<b>Année</b>	<b>CC1</b>	<b>CC2</b>	<b>CC3</b>	<b>CC4</b>	<b>CC5</b>
2006	3,87	9,68	71,14	13,67	1,64
2007	44,53	11,17	36,26	7,22	0,82
2008	26,84	4,21	61,33	6,86	0,75
2009	0,23	3,3	92,11	4,35	0,02
2010	1,6	1,56	92,61	3,97	0,25
2011	0	1,9	95,55	2,49	0,07
2012	0	2,99	95,68	1,33	0
2013	0	1,82	73,93	22,52	1,73
2014	0,09	25,65	72,58	1,67	0
2015	0,06	2,89	89,21	7,59	0,25
2016	0	1,26	84,96	13,66	0,11
2017	0,13	9,32	49,23	40,72	0,6
2018	0,16	37,52	46,36	15,56	0,4

Tableau 13. Condition de carapace (CC) des crabes des neiges dont la largeur de carapace est de 95 mm ou plus (en pourcentage selon le nombre) au fil du temps pour le sud-est de la Nouvelle-Écosse à partir des données d'observation en mer.

Année	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5
2006	6,16	17,85	68,45	7,24	0,3
2007	7,95	15,61	58,48	16,32	1,63
2008	10,12	8,57	67,93	12,34	1,03
2009	8,41	7,4	64,77	16,9	2,52
2010	2,5	9,75	79,53	7,25	0,96
2011	0,57	9,22	85,42	4,71	0,09
2012	0,29	10,16	85,28	4,2	0,07
2013	0,25	2,78	94,14	2,81	0,02
2014	1,08	23,48	69,45	5,82	0,17
2015	0,7	8,68	83,77	6,61	0,24
2016	0,03	3,53	80,2	15,88	0,37
2017	0,02	6,3	78,67	14,75	0,26
2018	0,04	8,34	83,23	8,11	0,27

Tableau 14. Condition de carapace (CC) des crabes des neiges dont la largeur de carapace est de 95 mm ou plus (en pourcentage selon le nombre) au fil du temps pour la ZPC 4X, à partir des données d'observation en mer. L'année fait référence à l'année où la saison a débuté (p. ex. 2014 correspond à la saison 2014–2015).

Année	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5
2006	0,05	0,5	98,01	1,44	0
2007	0,18	0,09	78,75	20,75	0,23
2008	0,32	0,16	56,98	42,47	0,08
2009	0,04	0,5	98,89	0,57	0
2010	0,25	1,23	54,28	44,17	0,07
2011	0,05	0,17	94,37	5,32	0,1
2012	0	0,8	81,56	17,16	0,48
2013	0	4,95	89,63	5,37	0,05
2014	0	46,99	51,98	1,04	0
2015	0,84	10,03	64,83	24,24	0,05
2016	0,95	15,54	72,3	10,68	0,54
2017	0,85	14,74	73,33	10,6	0,49

Tableau 15. Condition de carapace (CC) des crabes des neiges dont la largeur de carapace est de 95 mm ou plus (en pourcentage selon le nombre) au fil du temps pour le nord-est de la Nouvelle-Écosse, à partir des données de relevé au chalut.

Année	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5
2006	0	18,52	15,74	42,59	23,15
2007	0	23,81	67,35	7,48	1,36
2008	0,14	41,77	50,88	7,21	0
2009	3,53	30,59	64	1,88	0
2010	0	39,05	56,67	4,17	0,12
2011	0,11	38,2	56,75	4,94	0
2012	0	16,89	73,91	9,2	0
2013	0,24	51,22	43,4	5,01	0,12
2014	0	14,08	79,31	6,61	0
2015	0	16,53	29,03	53,63	0,81
2016	0	9,47	41,05	48,42	1,05
2017	0	27,17	43,4	27,2	2,31
2018	0,00	73,00	21,5	5,5	0,00

Tableau 16. Condition de carapace (CC) des crabes des neiges dont la largeur de carapace est de 95 mm ou plus (en pourcentage selon le nombre) au fil du temps pour le sud-est de la Nouvelle-Écosse, à partir des données de relevé au chalut. Proportions brutes non ajustées.

Année	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5
2006	1,15	17,98	61,55	17,56	1,76
2007	1,37	57,88	31,29	8,89	0,57
2008	0,58	15,12	69,83	13,93	0,54
2009	0,17	25,09	66,45	8,01	0,28
2010	0,22	26,29	71,08	2,22	0,2
2011	0,03	18,87	78,32	2,68	0,1
2012	0,03	18,76	77,57	3,41	0,23
2013	0,09	28,24	65,94	5,54	0,19
2014	0,07	12,11	83,87	3,85	0,1
2015	0,69	22,05	66,92	9,13	1,21
2016	0,31	17,84	69,82	11,36	0,66
2017	0,00	30,84	57,8	11,2	0,54
2018	0,05	32,05	54,5	13,0	0,41

Tableau 17. Condition de carapace (CC) des crabes des neiges dont la largeur de carapace est de 95 mm ou plus (en pourcentage selon le nombre) au fil du temps pour la ZPC 4X, à partir des données de relevé au chalut. Proportions brutes non ajustées.

<b>Année</b>	<b>CC1</b>	<b>CC2</b>	<b>CC3</b>	<b>CC4</b>	<b>CC5</b>
2006	0	6,94	83,33	8,33	1,39
2007	0	15,79	78,95	5,26	0
2008	0	1,61	90,32	8,06	0
2009	1,06	10,05	83,6	5,29	0
2010	2,88	21,15	71,15	4,81	0
2011	0	11,11	85,19	3,7	0
2012	0	3,7	51,85	40,74	3,7
2013	7,69	15,38	69,23	7,69	0
2014	0	0	94,12	5,88	0
2015	2,44	2,44	63,41	31,71	0
2016	0	19,44	77,78	2,78	0
2017	16,67	0	50	16,7	16,7
2018	0,00	26,32	63,2	10,5	0,00

## FIGURES

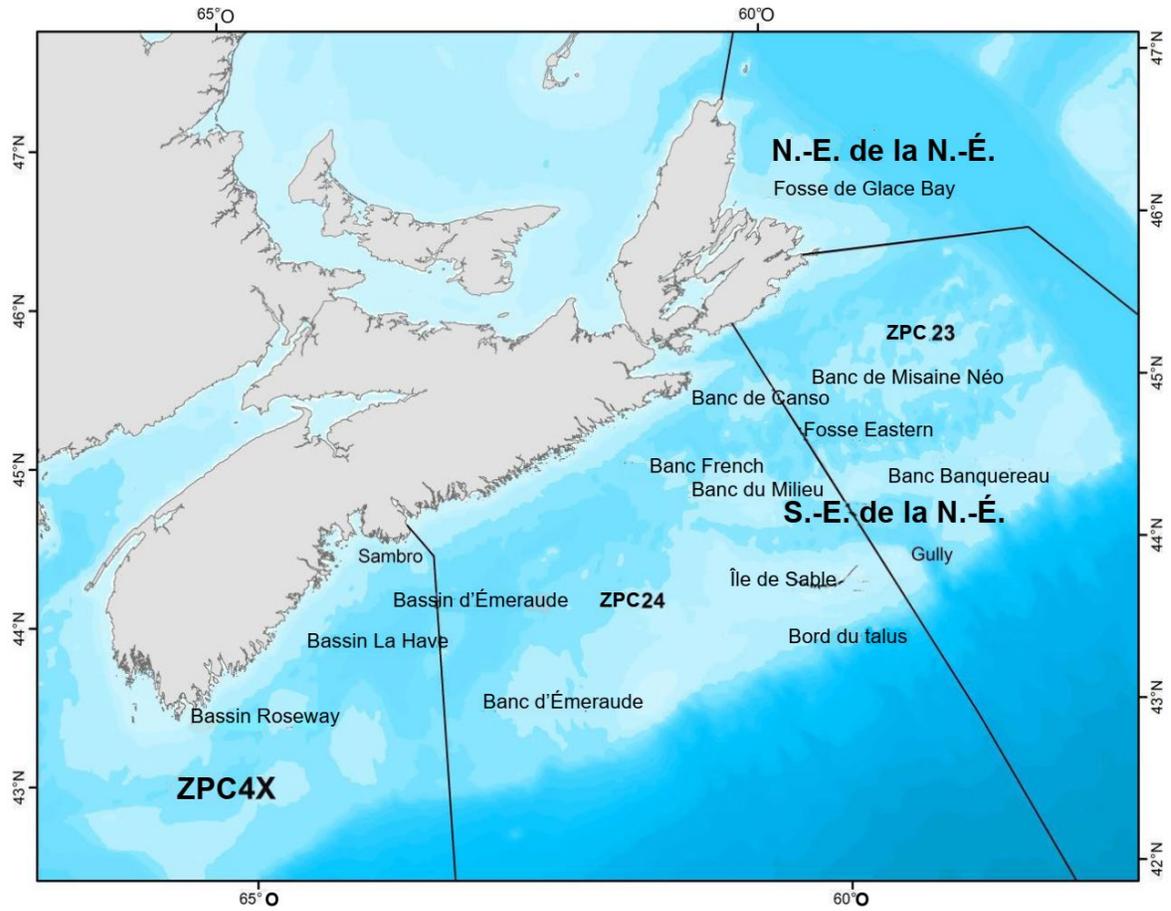


Figure 1. Emplacement des zones géographiques et des zones de gestion du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais.

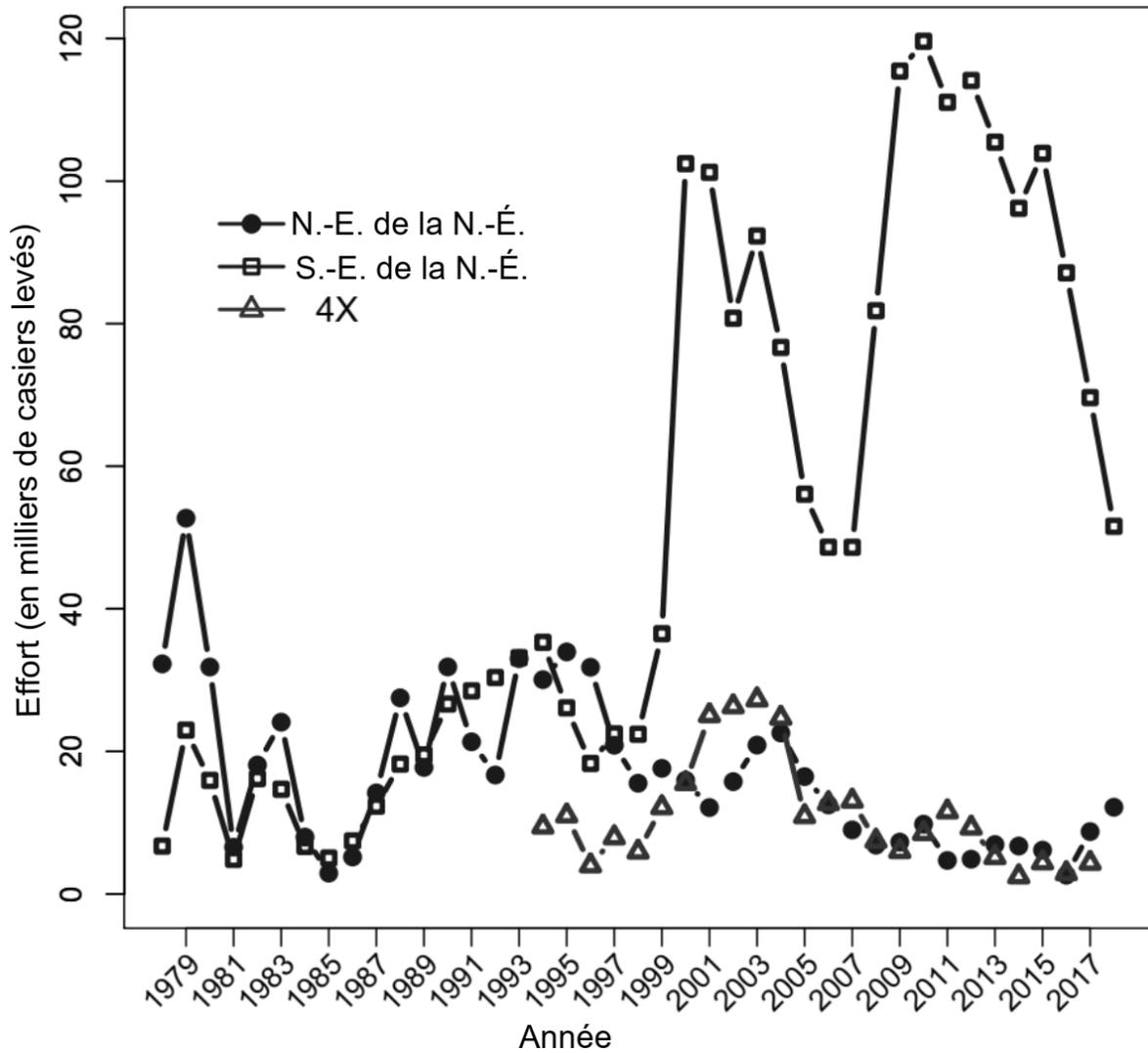


Figure 2. Variations temporelles de l'effort de pêche du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais, exprimées en nombre de casiers levés. L'année indiquée pour la ZPC 4X fait référence à l'année où la saison de pêche a commencé.

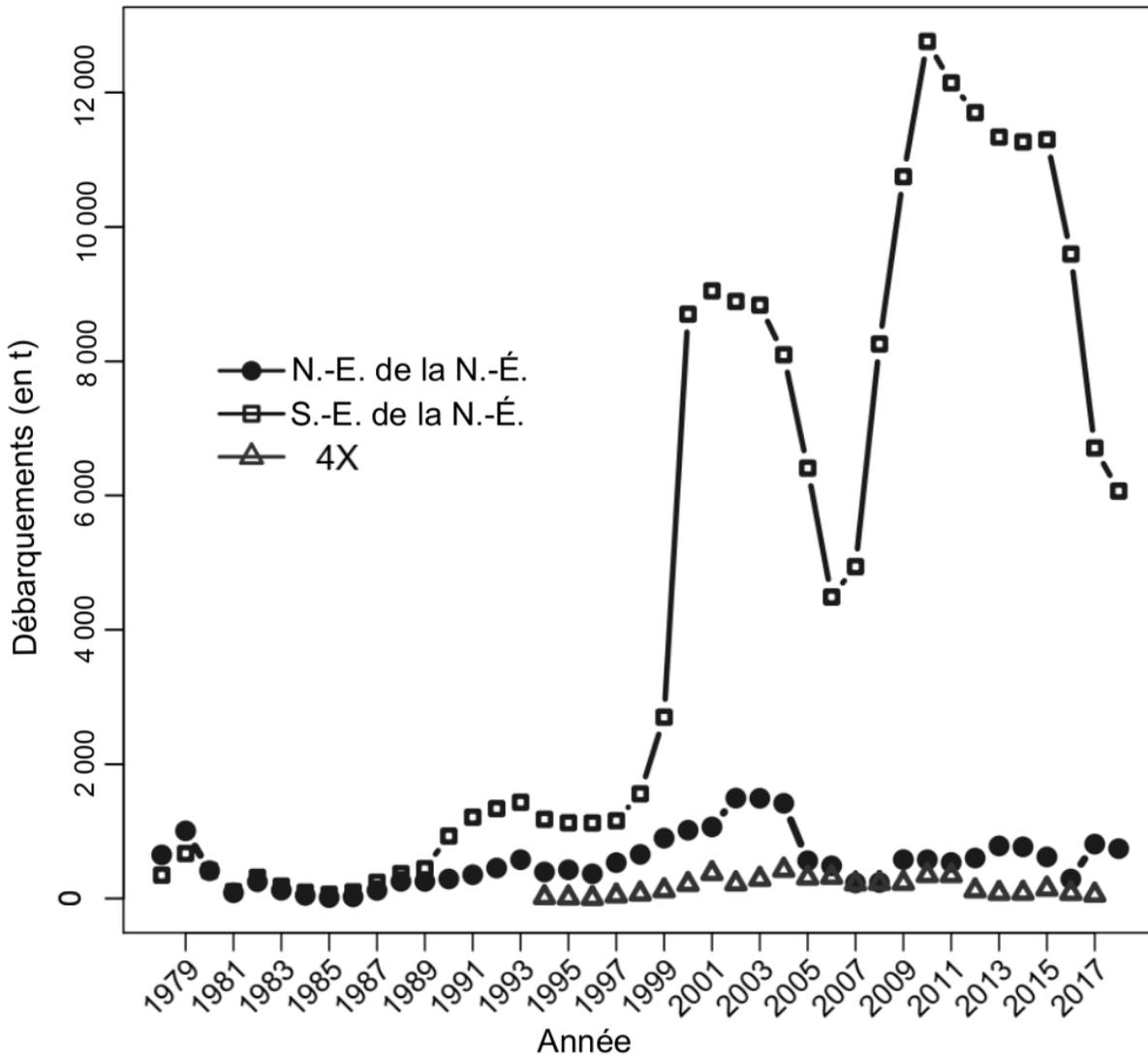


Figure 3. Variations temporelles des débarquements de crabe des neiges du plateau néo-écossais (en tonnes). Les débarquements suivent les TAC d'assez près (tableaux 2 à 4).

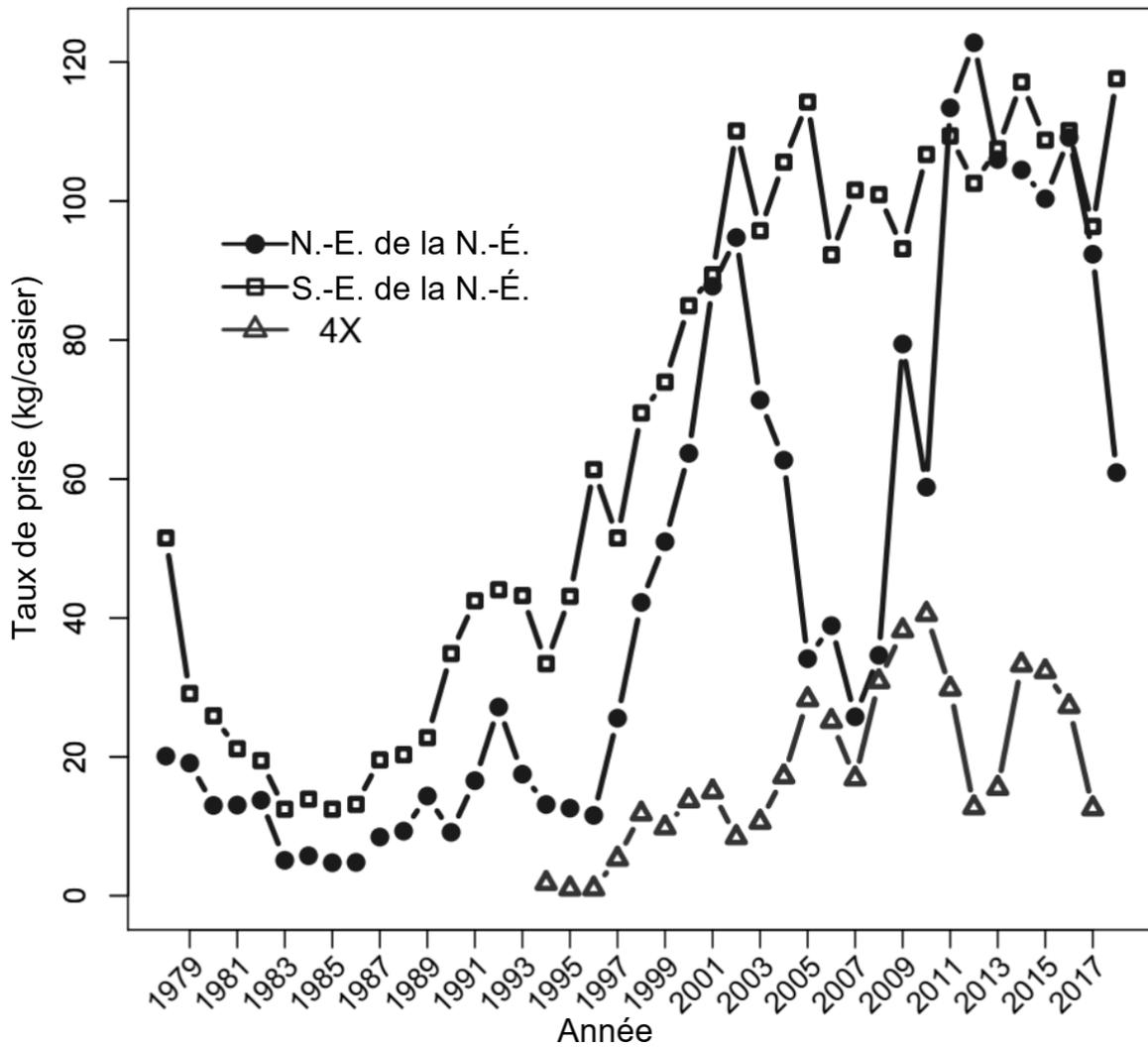


Figure 4. Variations temporelles des taux de prise de crabe des neiges sur le plateau néo-écossais, exprimées en kilogrammes par casier levé. Le modèle et la taille des casiers ont changé au fil du temps. Aucune correction pour ces différents types de casiers ni pour la durée d'immersion et le type d'appât n'a été tentée (voir la section Méthodes). L'année indiquée pour la ZPC 4X fait référence à l'année où la saison de pêche a commencé.

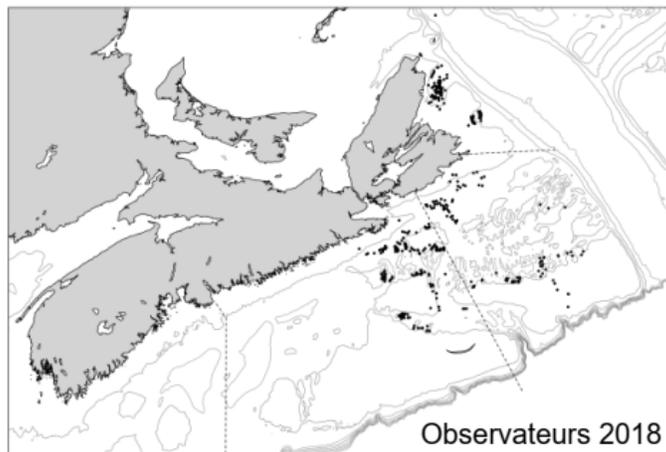
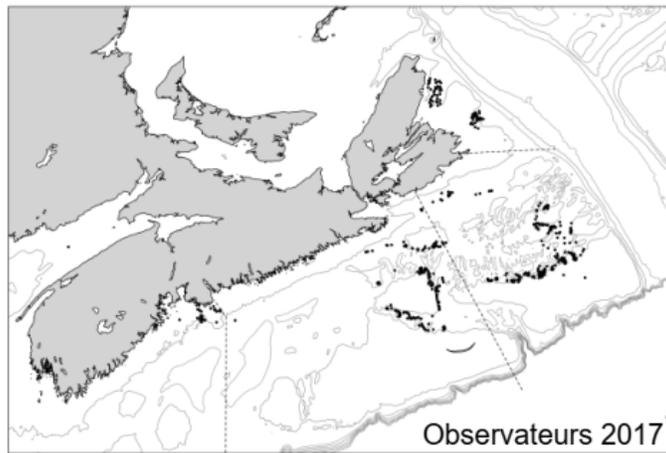
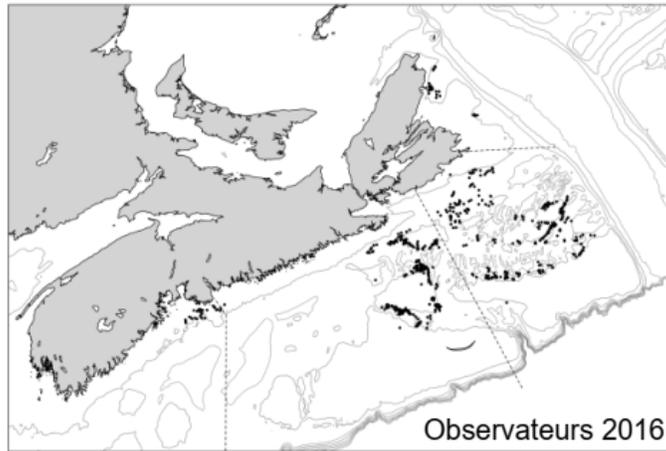


Figure 5. Lieux de pêche du crabe des neiges surveillés par des observateurs en mer sur le plateau néo-écossais au cours de chacune des trois dernières saisons de pêche.

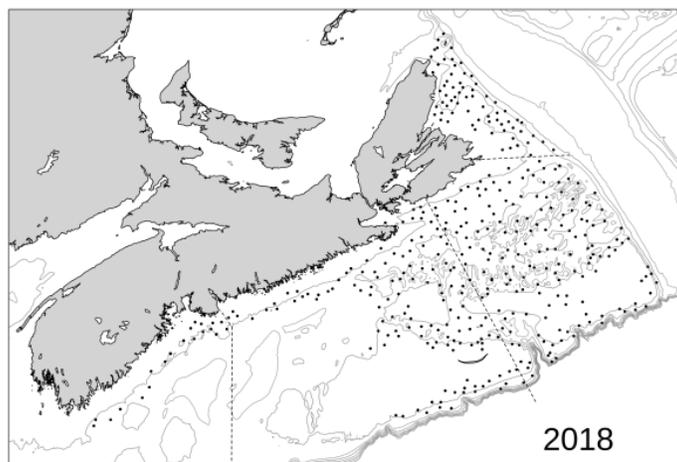
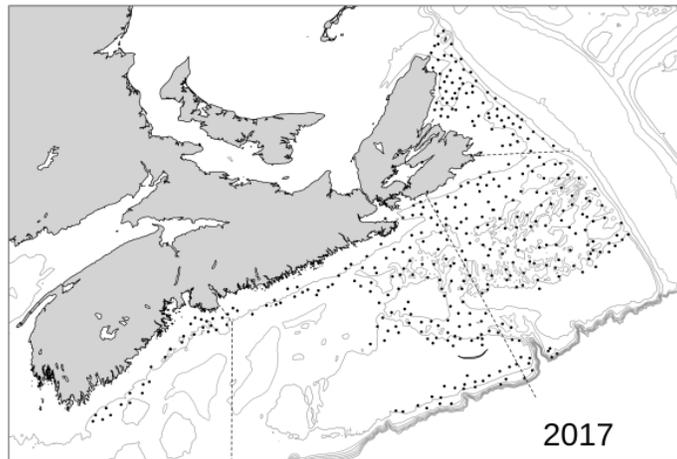
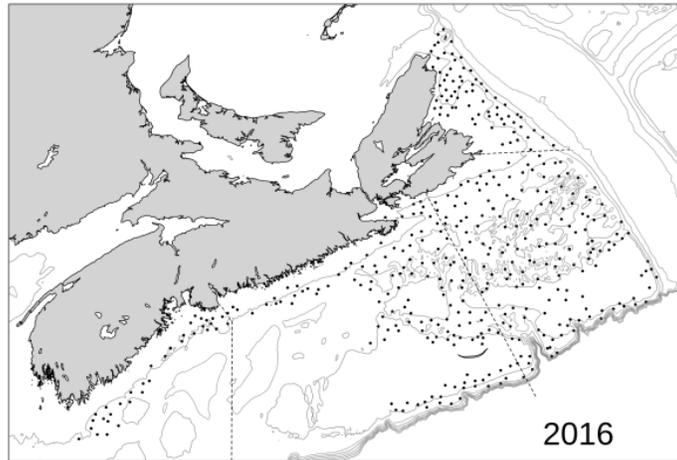


Figure 6. Emplacements des calées de chalut des relevés du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais au cours de chacune des trois dernières années. Il est à noter que le relevé de 2017 n'est pas terminé pour certaines stations du coin sud-est, contrairement aux autres années.

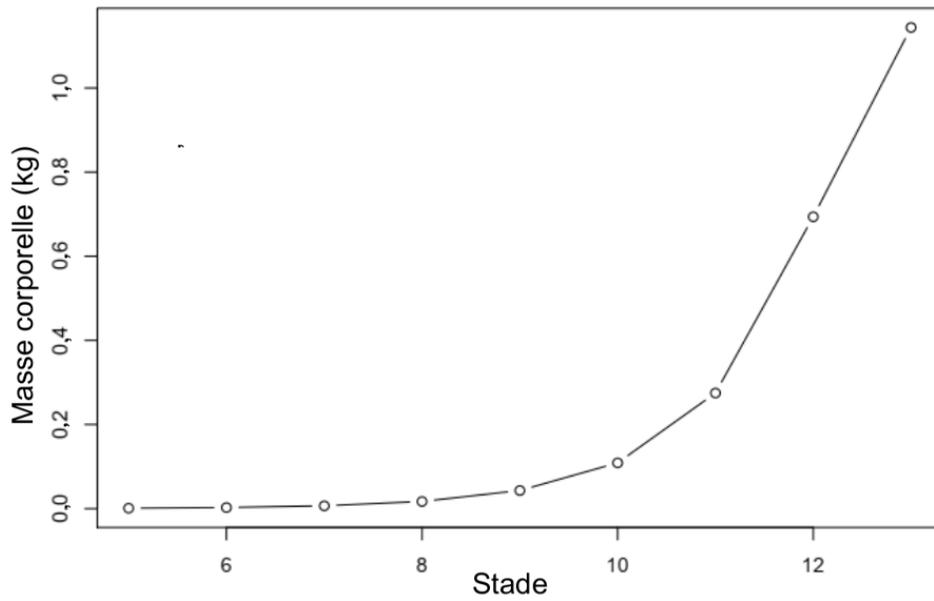
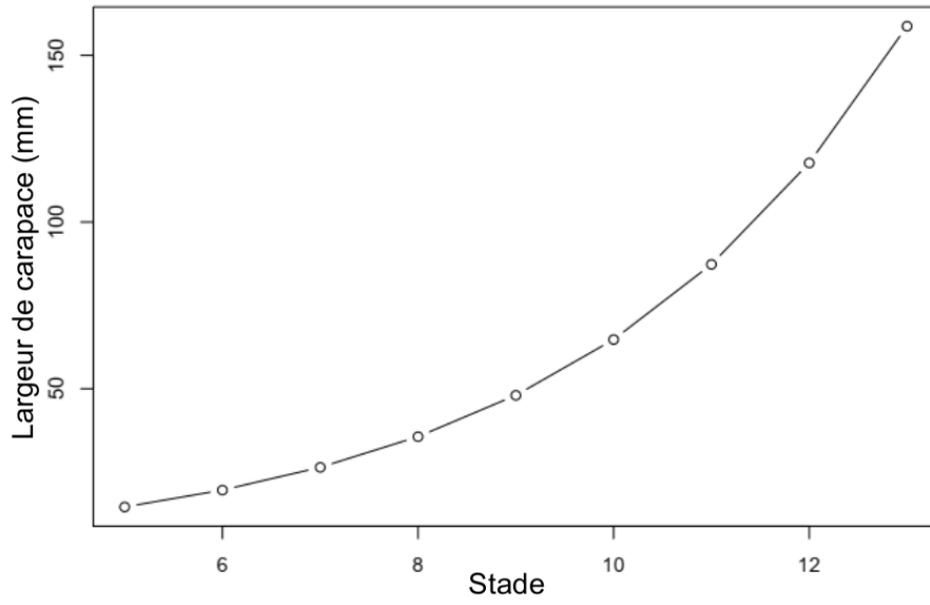


Figure 7. Courbes de croissance déterminées à partir de l'analyse de la fréquence de la longueur modale du crabe des neiges mâle sur le plateau néo-écossais.

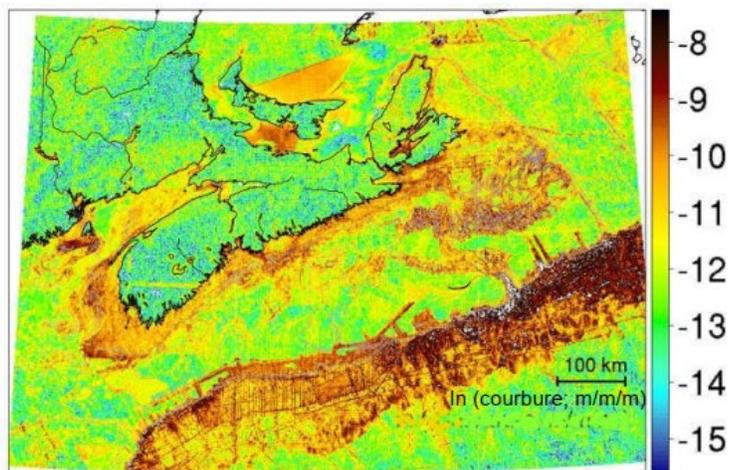
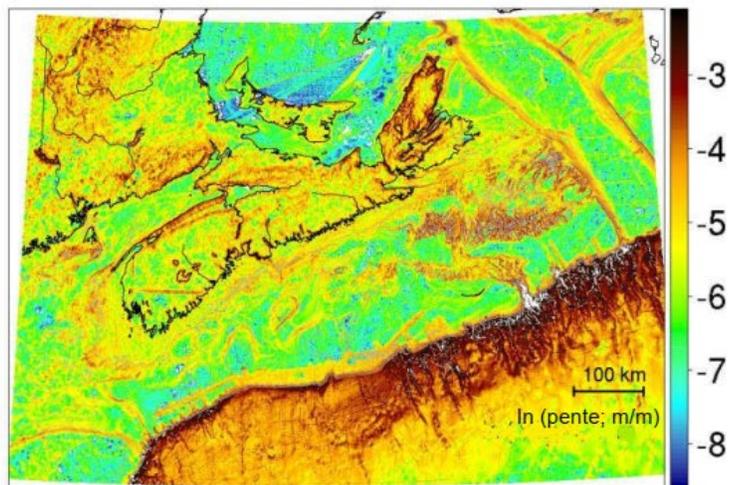
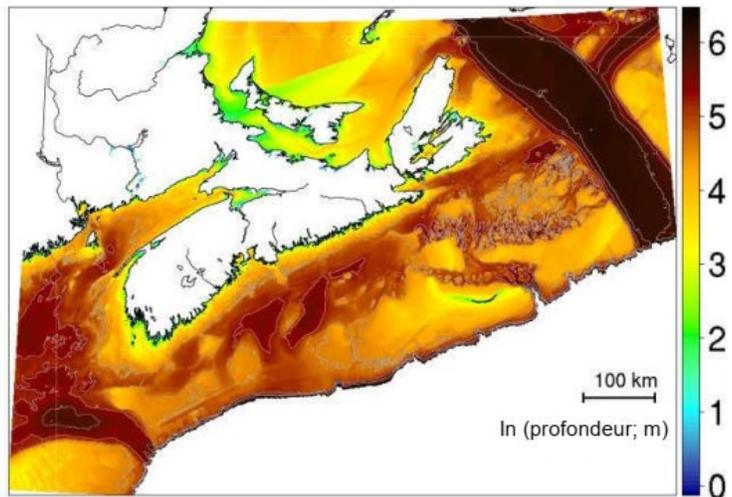


Figure 8. Caractéristiques de l'habitat utilisées pour la modélisation de la délimitation de l'habitat du crabe des neiges. Du haut vers le bas : profondeur, pente, courbure.

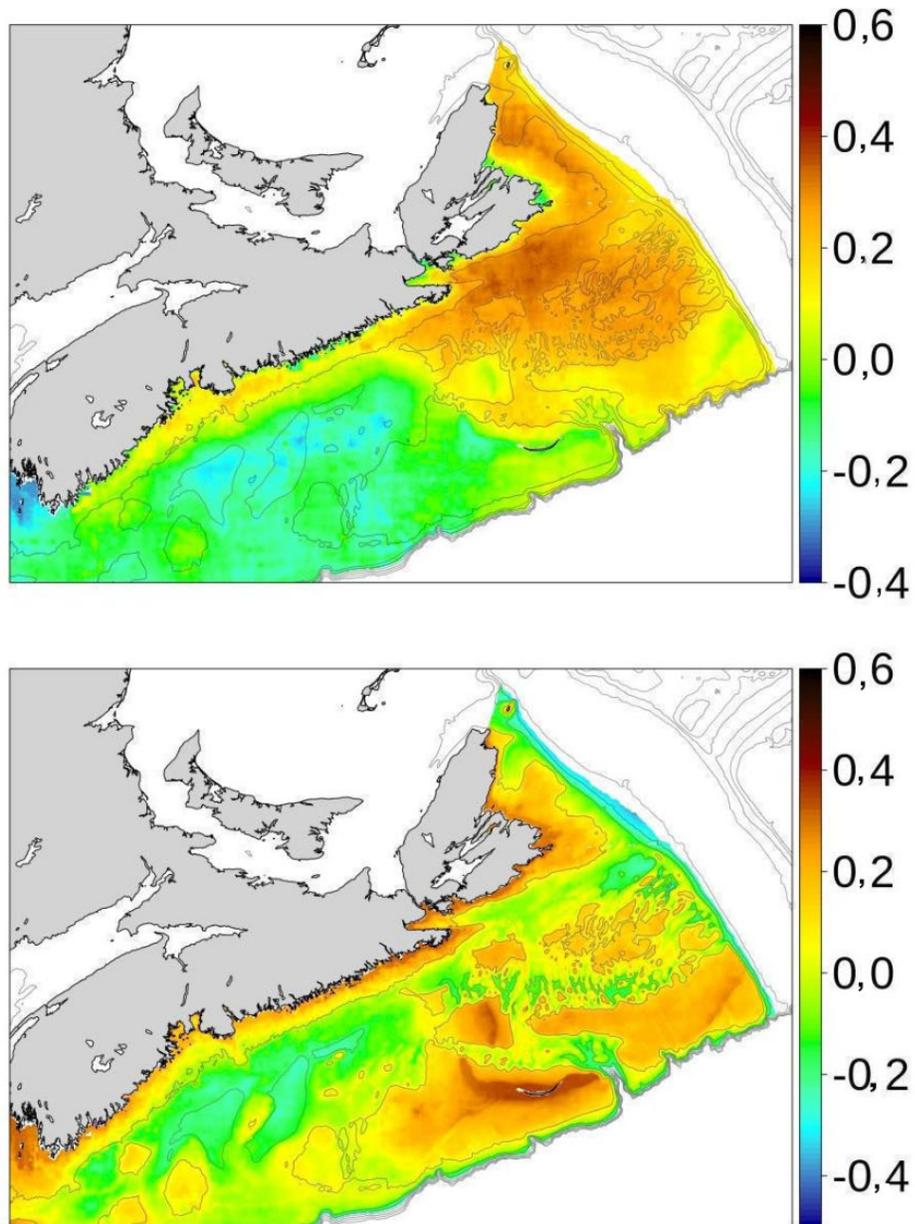


Figure 9. Analyse en composantes principales des caractéristiques de la composition de l'espèce (communautés) sur le plateau néo-écossais utilisées dans la modélisation de l'habitat du crabe des neiges. Des séries chronologiques annuelles sont utilisées. La figure du haut est le premier axe d'ordination, la figure du bas est le deuxième axe d'ordination.

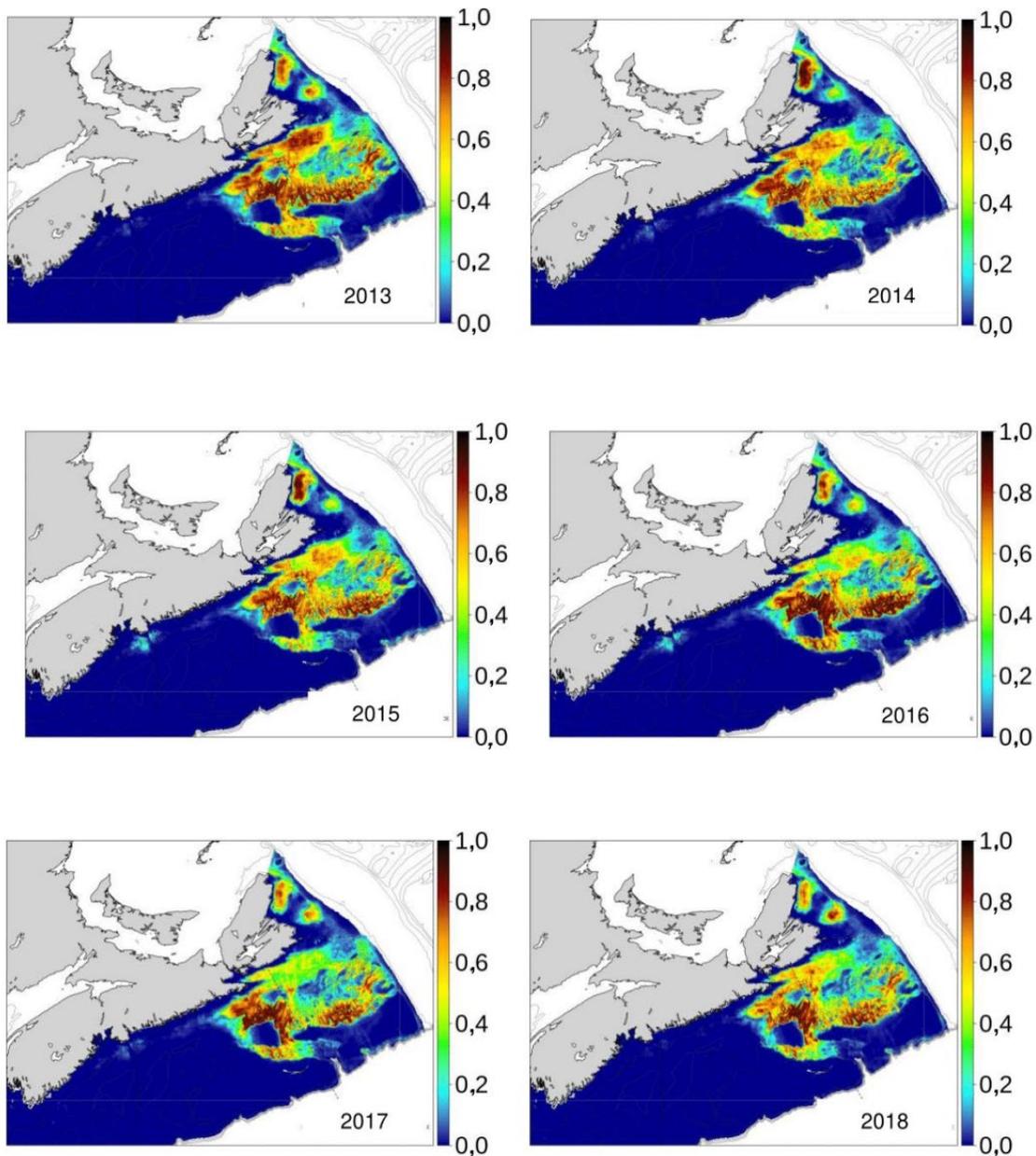


Figure 10. Les interpolations annuelles de l'habitat potentiel de la composante exploitable du crabe des neiges de l'EPN sont représentées en tant que probabilité de trouver du crabe des neiges. Les représentations spatiales sont générées à l'aide de la modélisation stmv au moyen de modèles additifs généralisés de plusieurs variables relatives à l'habitat, à l'environnement et à la biologie.

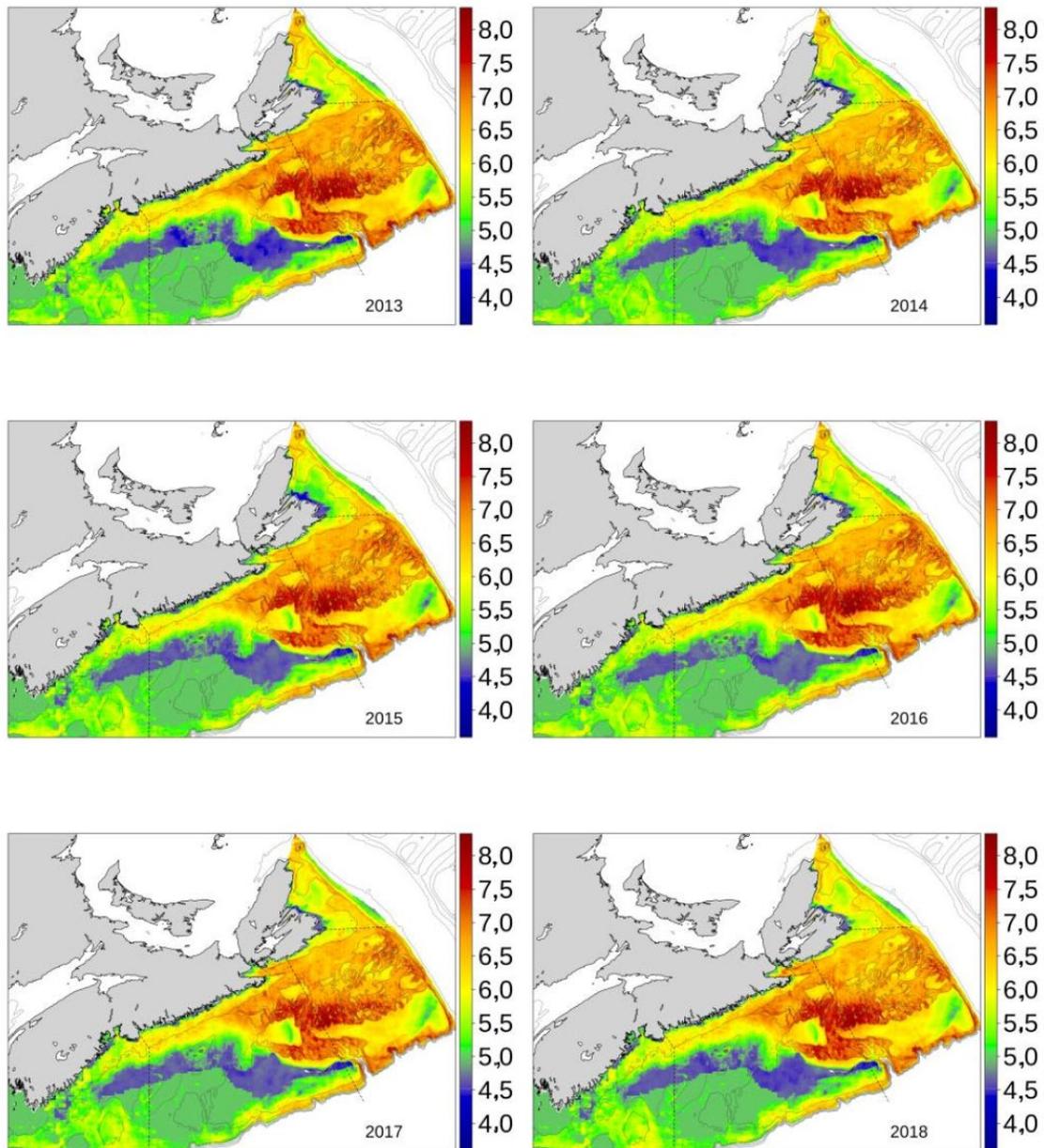


Figure 11. Interpolations annuelles de la biomasse de crabe des neiges exploitable, exprimées par  $\log(t/km^2)$ . Les représentations spatiales sont générées à l'aide de la modélisation stmv au moyen de modèles additifs généralisés de plusieurs variables relatives à l'habitat, à l'environnement et à la biologie. Probablement une surreprésentation étant donné les limites actuelles de cette approche de modélisation.

Stade Individu immature

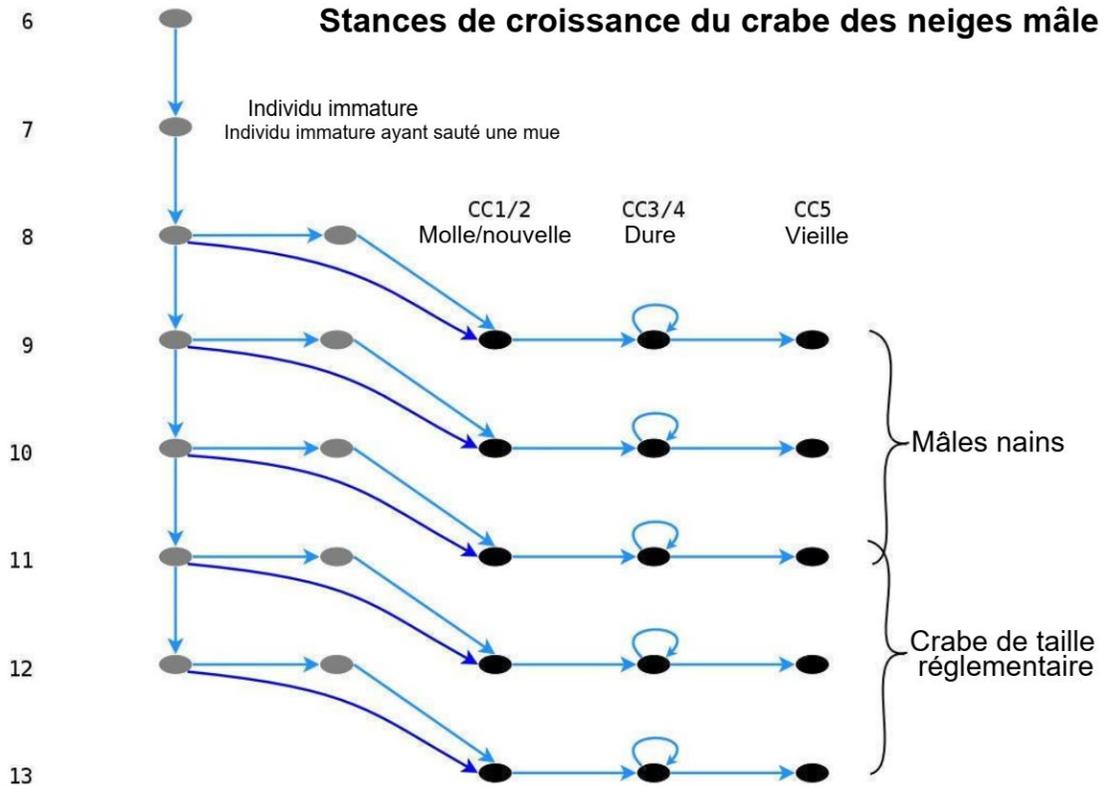


Figure 12. Les stances de croissance du crabe des neiges mâle. Chaque stade est déterminé selon les limites de LC obtenues à partir d'une analyse modale et catégorisé en fonction de la condition de carapace (CC) et de la maturité à partir d'une inspection visuelle et d'équations de maturité. Chaque stance de croissance dure un an, à l'exception des stances CC2 à CC4 qui, d'après les études de marquage-recapture, durent de trois à cinq ans.

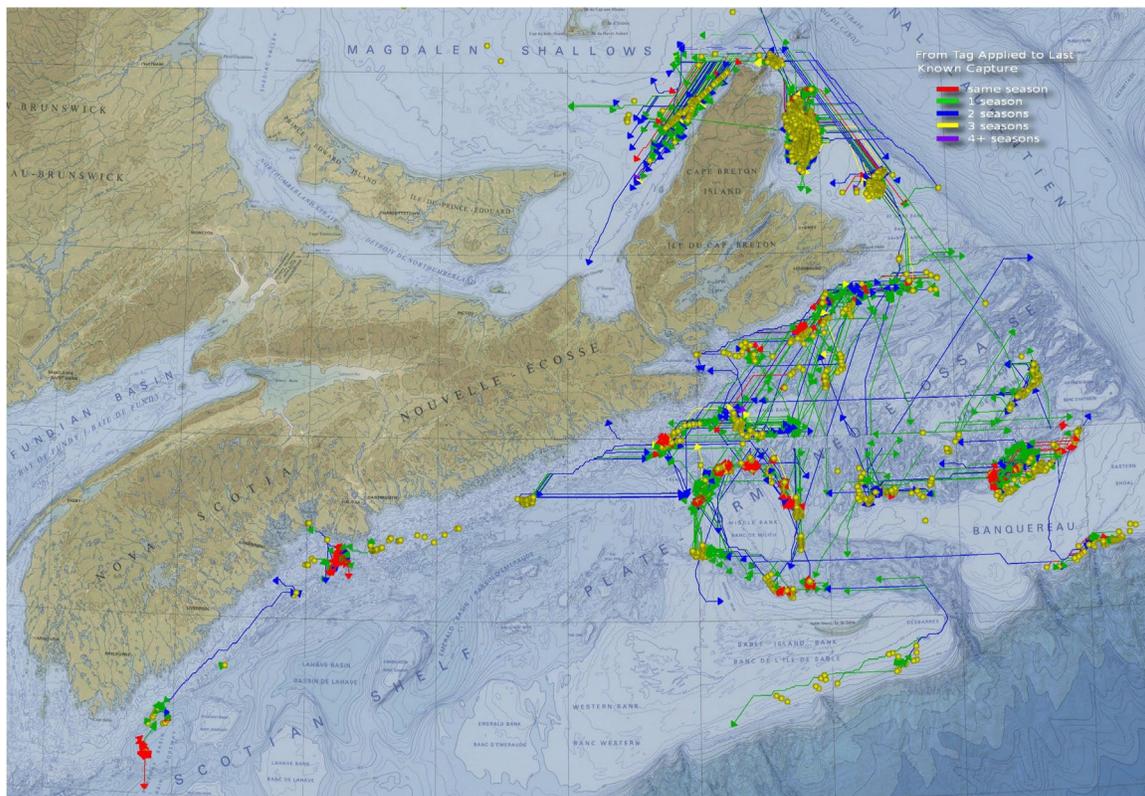


Figure 13. Déplacement des crabes des neiges mâles adultes sur le plateau néo-écossais. La trajectoire de déplacement entre les lieux de remise à l'eau et de recapture est limitée à la trajectoire la plus courte dans des contours de profondeur de 60 à 280 m. Les cercles représentent les lieux de remise à l'eau et les couleurs représentent l'intervalle de temps (en années) entre le marquage initial et la dernière recapture.

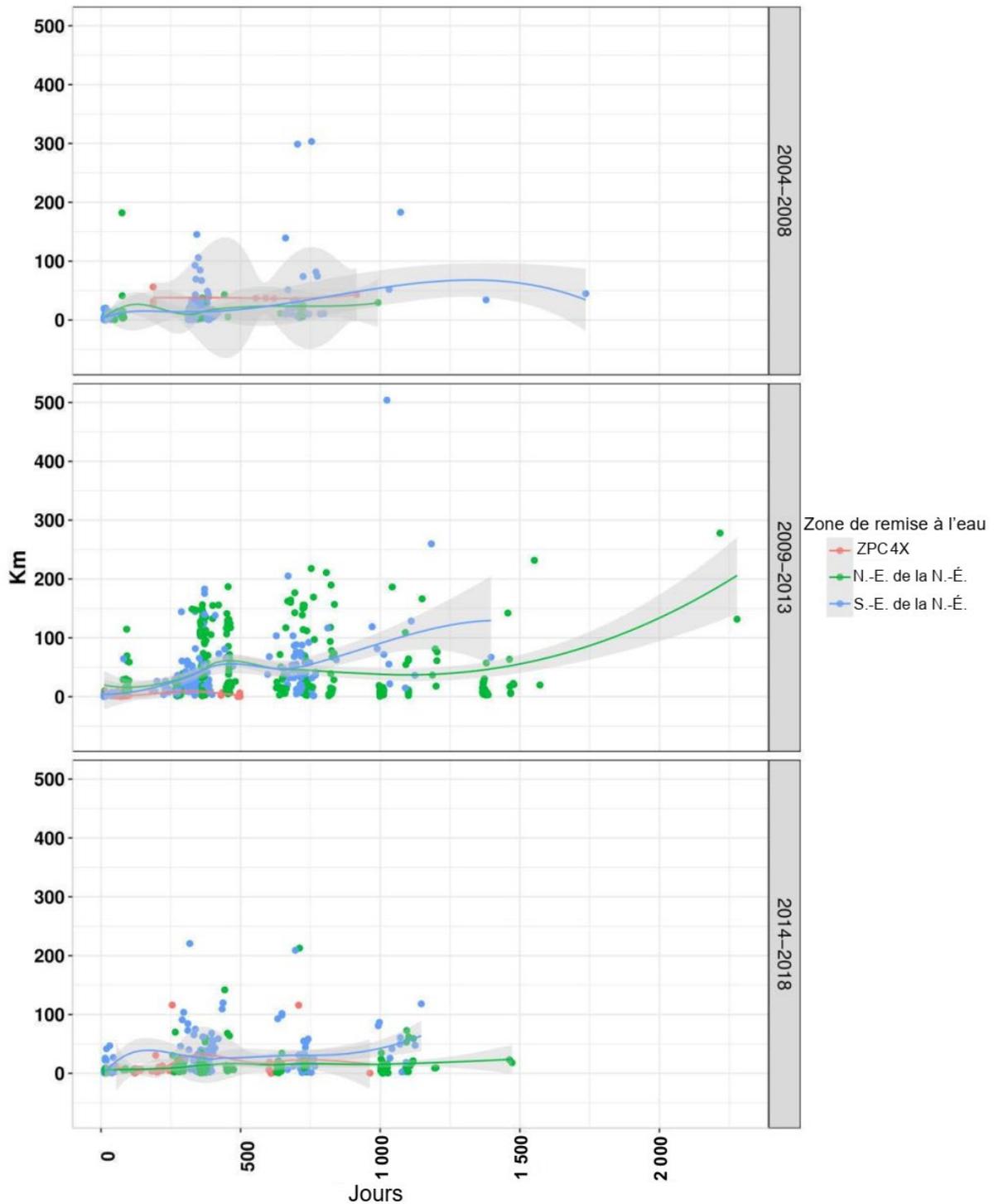


Figure 14. Distance parcourue par rapport au temps écoulé avant la recapture pour les crabes des neiges marqués sur le plateau néo-écossais depuis 2004. Données regroupées par année de remise à l'eau, la zone de remise à l'eau se distinguant par la couleur. La périodicité des intervalles de temps s'explique par les recaptures survenant pendant les opérations de pêche saisonnières.

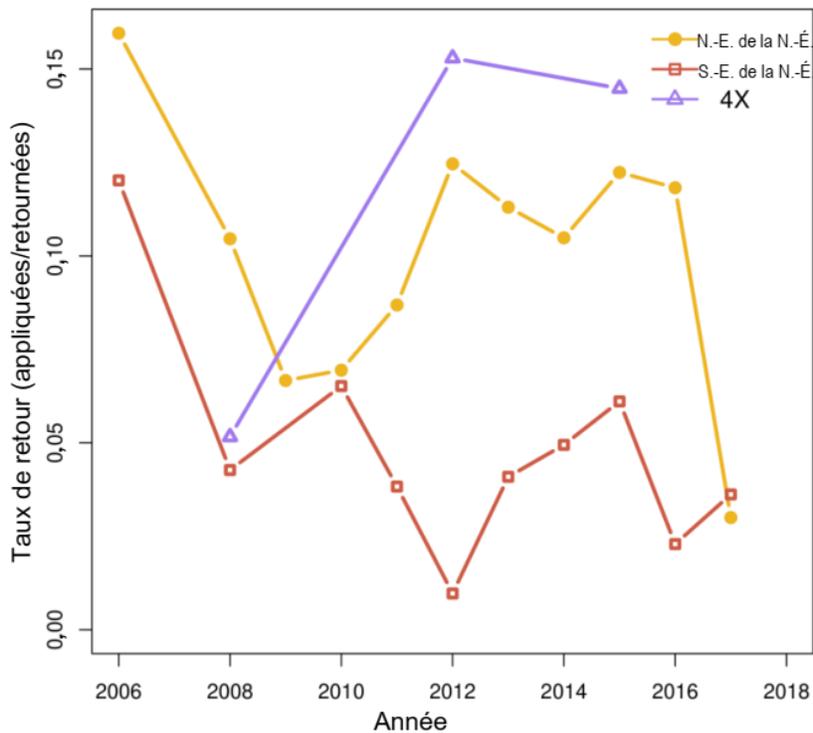
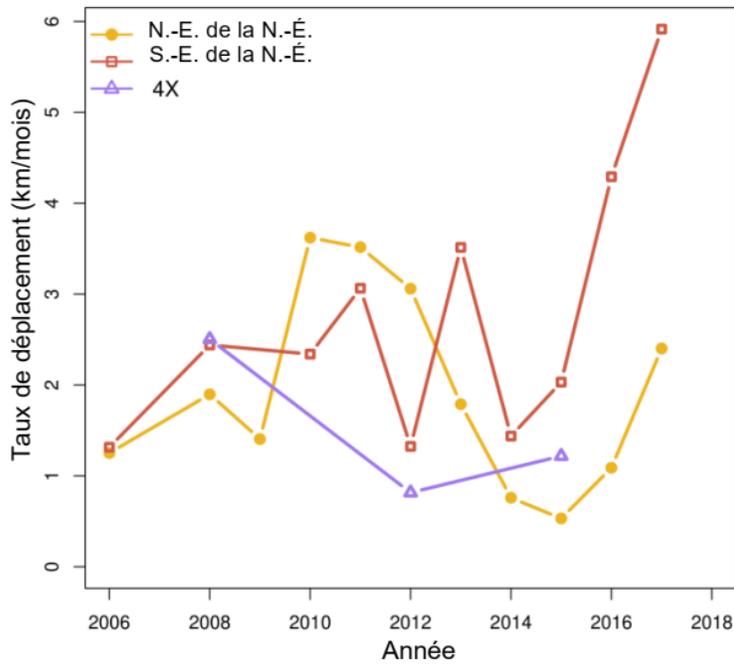


Figure 15. (En haut) Taux moyen de déplacement du crabe des neiges marqué sur le plateau néo-écossais par zone et par année. Les longueurs de trajet sont dérivées des trajectoires les plus courtes calculées, limitées par une plage de profondeur de 60 à 280 m. La petite taille de l'échantillon et la courte période entre le marquage et la recapture potentielle expliquent les taux plus élevés que la normale dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse en 2016 et en 2017. (En bas) Taux de retour des étiquettes, nombre d'étiquettes apposées qui sont retournées dans une zone et une année données.

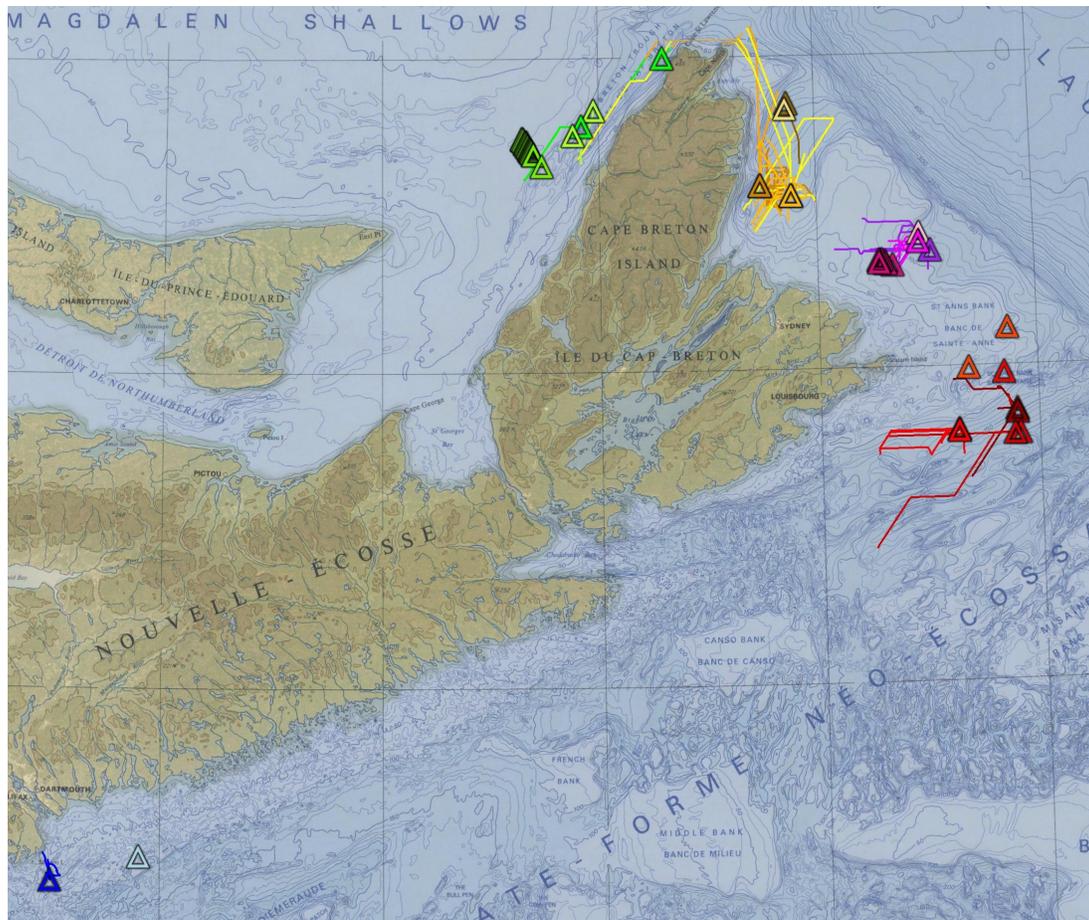


Figure 16. Déplacement des crabes des neiges marqués d'une étiquette acoustique sur le plateau néo-écossais. La trajectoire de déplacement entre le point de repère et les points de détection est limitée à la trajectoire la plus courte dans des contours de profondeur de 60 et 280 m. Les triangles représentent les lieux de remise à l'eau et les couleurs individuelles représentent les animaux marqués individuellement.

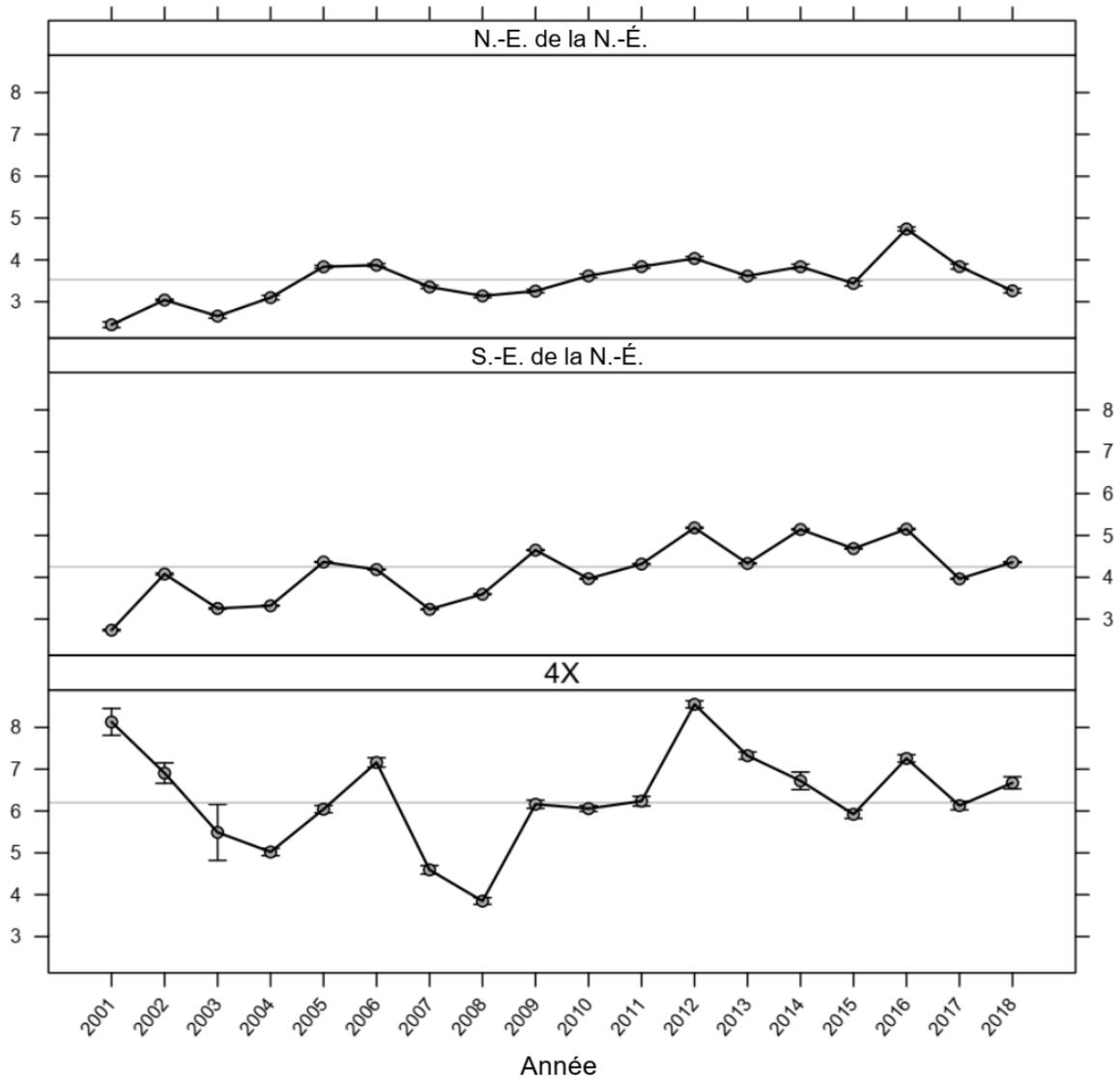


Figure 17. Variations annuelles de la température au fond (°C) observées au cours des relevés du crabe des neiges dans l'est de la Nouvelle-Écosse. La ligne horizontale représente la température médiane à long terme de chaque zone. Les barres d'erreur représentent un écart-type de 1.

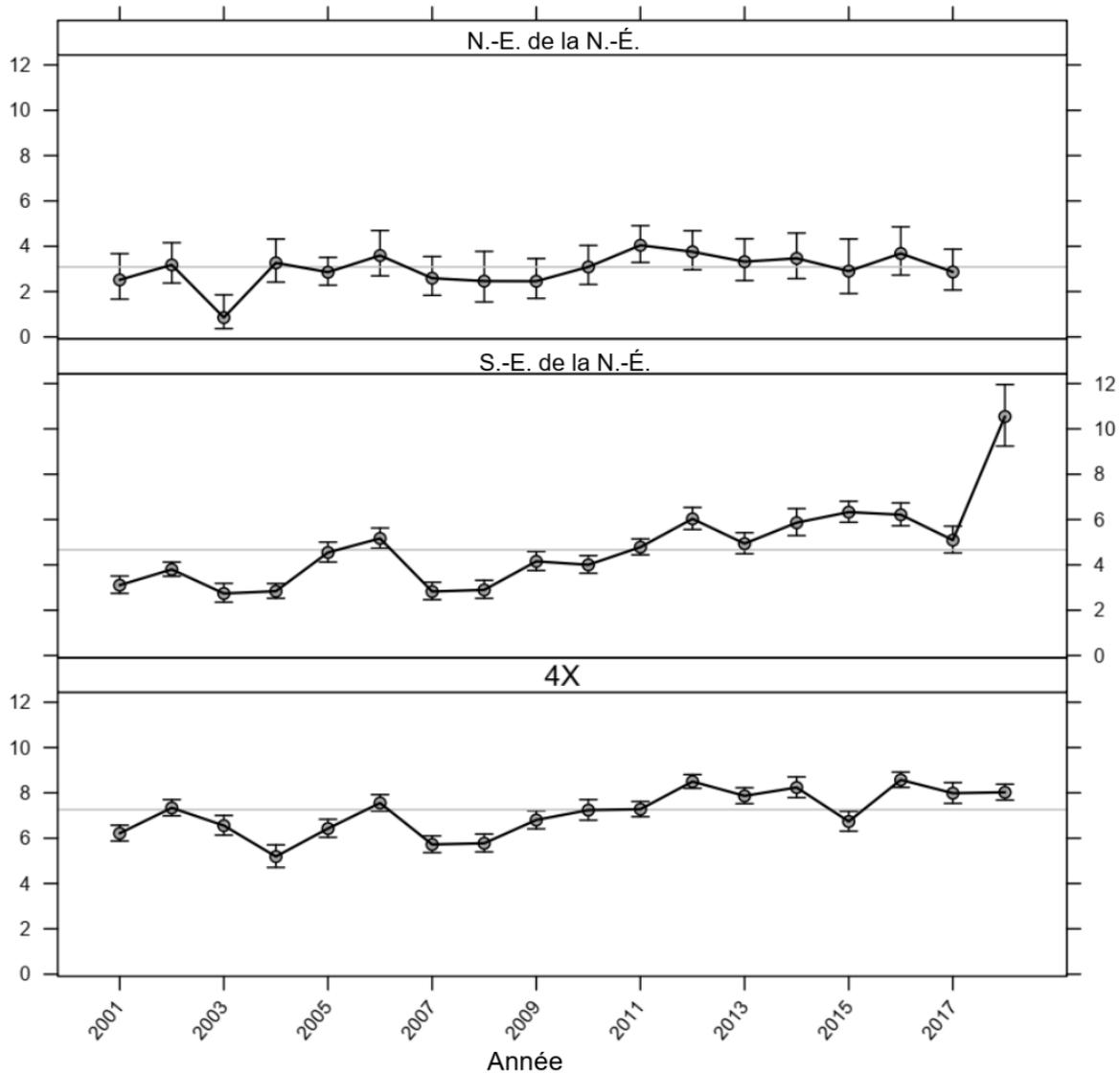


Figure 18. Variations annuelles de la température du fond (°C) observées pendant les relevés estivaux par navire de recherche du MPO. La ligne horizontale représente la température médiane à long terme de chaque zone. Les barres d'erreur représentent un écart-type de 1. Très peu des stations de l'est du plateau néo-écossais ont fait l'objet d'un relevé comme prévu en 2018 — il n'y pas de données pour le nord-est de la Nouvelle-Écosse et les données sont incomplètes pour le sud-est de la Nouvelle-Écosse.

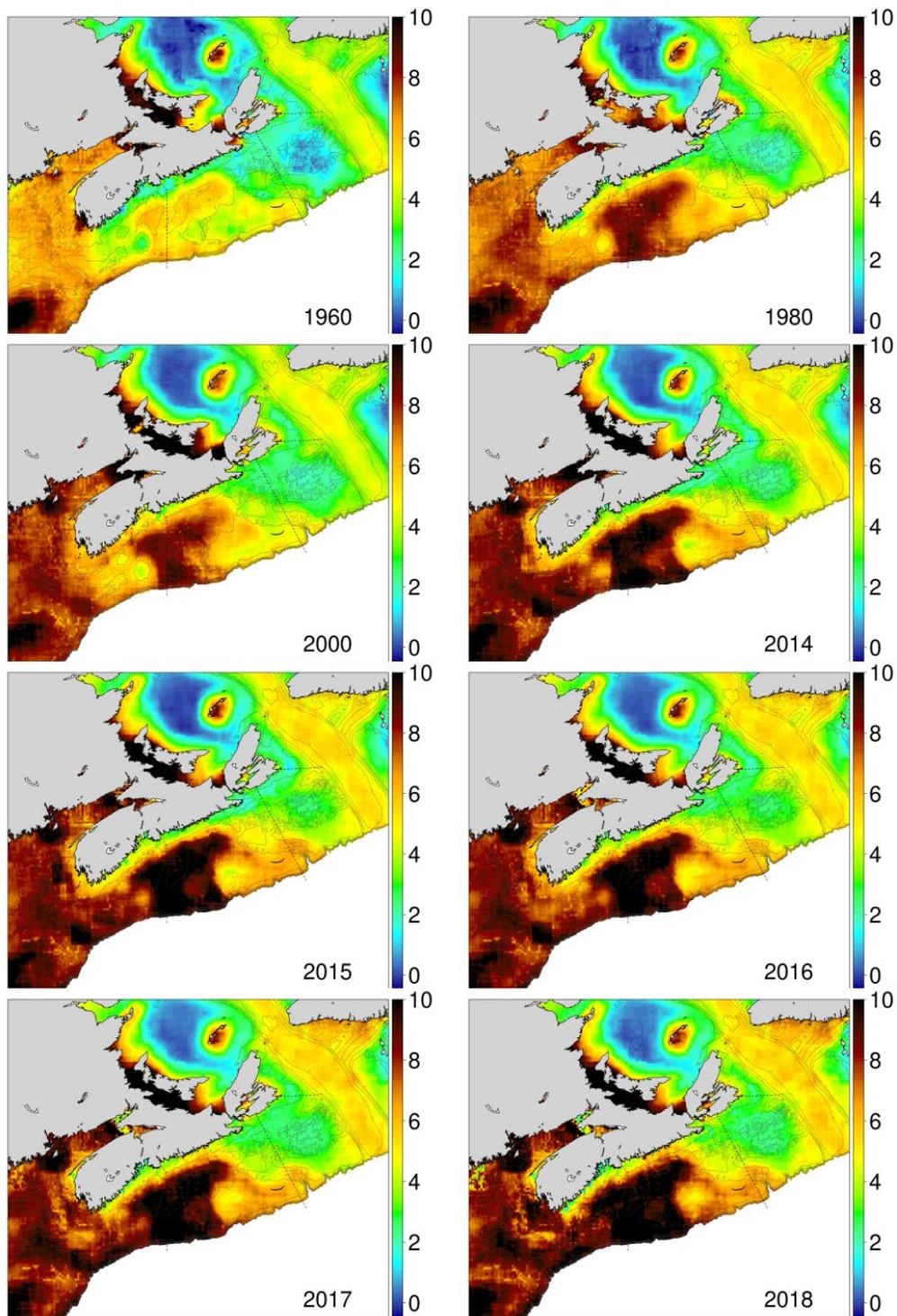


Figure 19. Température au fond annuelle moyenne interpolée sur le plateau néo-écossais pour l'année sélectionnée. Ces interpolations utilisent toutes les données accessibles en ce qui concerne la température de l'eau dans la zone, y compris celles provenant des relevés estivaux par navire de recherche du MPO, du relevé du crabe des neiges et des stations de surveillance du Programme de monitoring de la zone Atlantique.

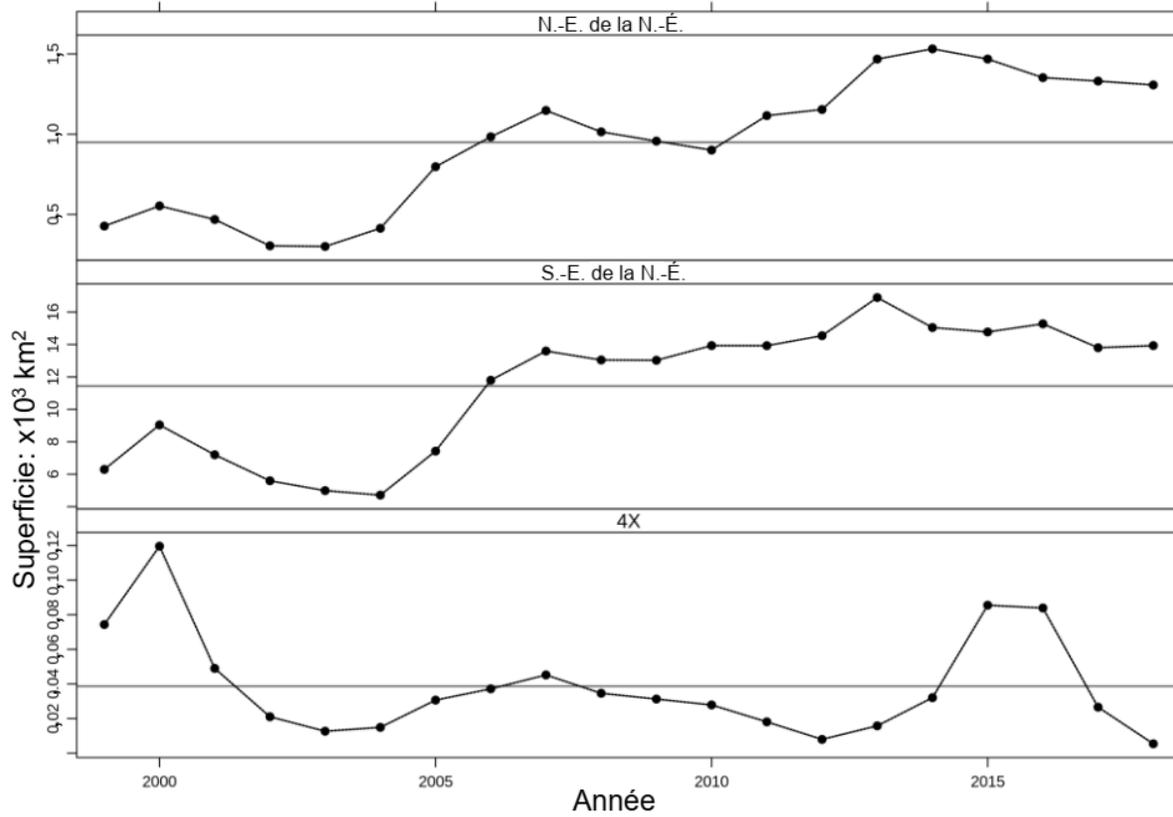


Figure 20. Variations annuelles de la superficie de l'habitat potentiel du crabe des neiges. La ligne horizontale représente la superficie médiane à long terme de chaque zone.

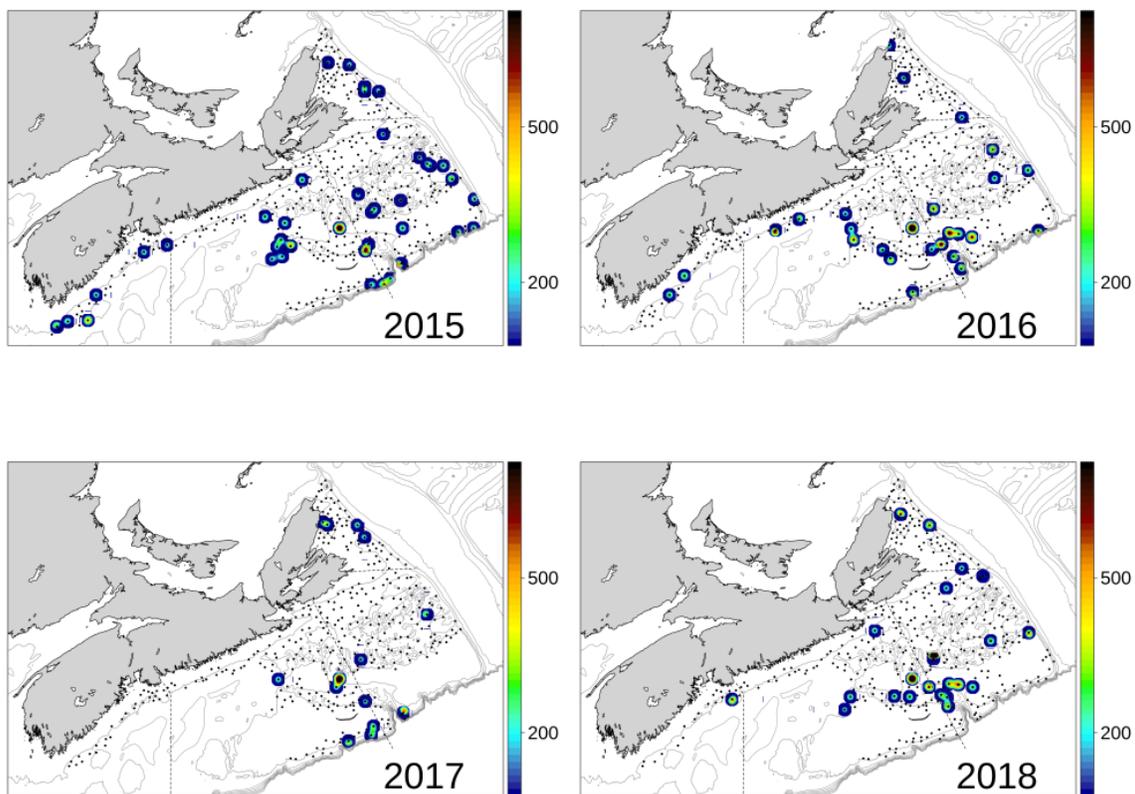


Figure 21. Emplacements des prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais d'après les relevés annuels du crabe des neiges : *flétan atlantique*. Échelle : nombre/km<sup>2</sup>.

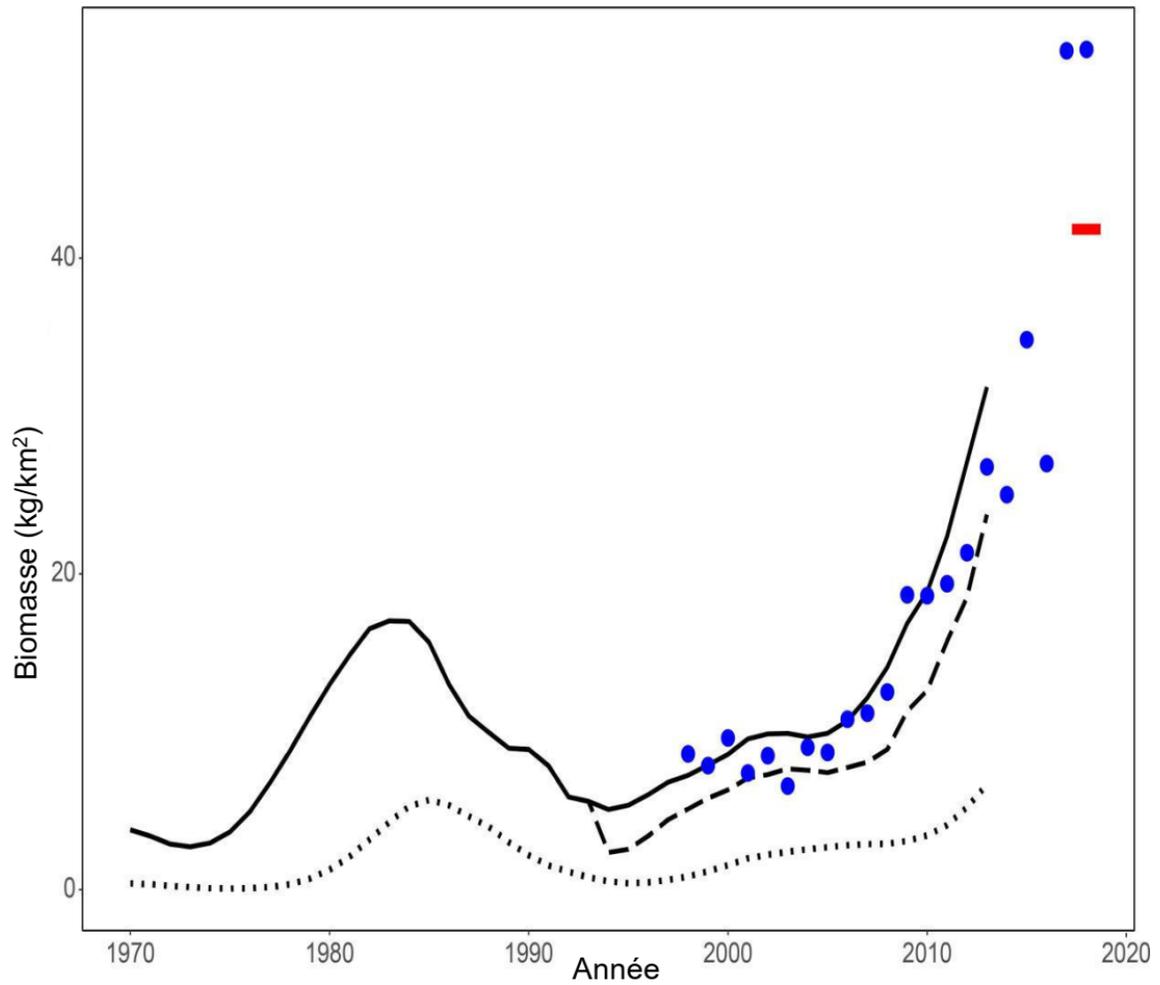


Figure 22. Biomasse du flétan atlantique sur le plateau néo-écossais et au sud des Grands Bancs d'après le modèle d'évaluation du stock (lignes noires) et les stations d'indice du relevé du flétan (cercles bleus). La ligne noire continue représente la biomasse totale, la ligne en tirets représente la biomasse de taille réglementaire et la ligne pointillée représente la biomasse du stock reproducteur. La barre rouge représente la moyenne actuelle sur trois ans de l'indice de la biomasse tiré du relevé du flétan. Source : MPO 2018a.

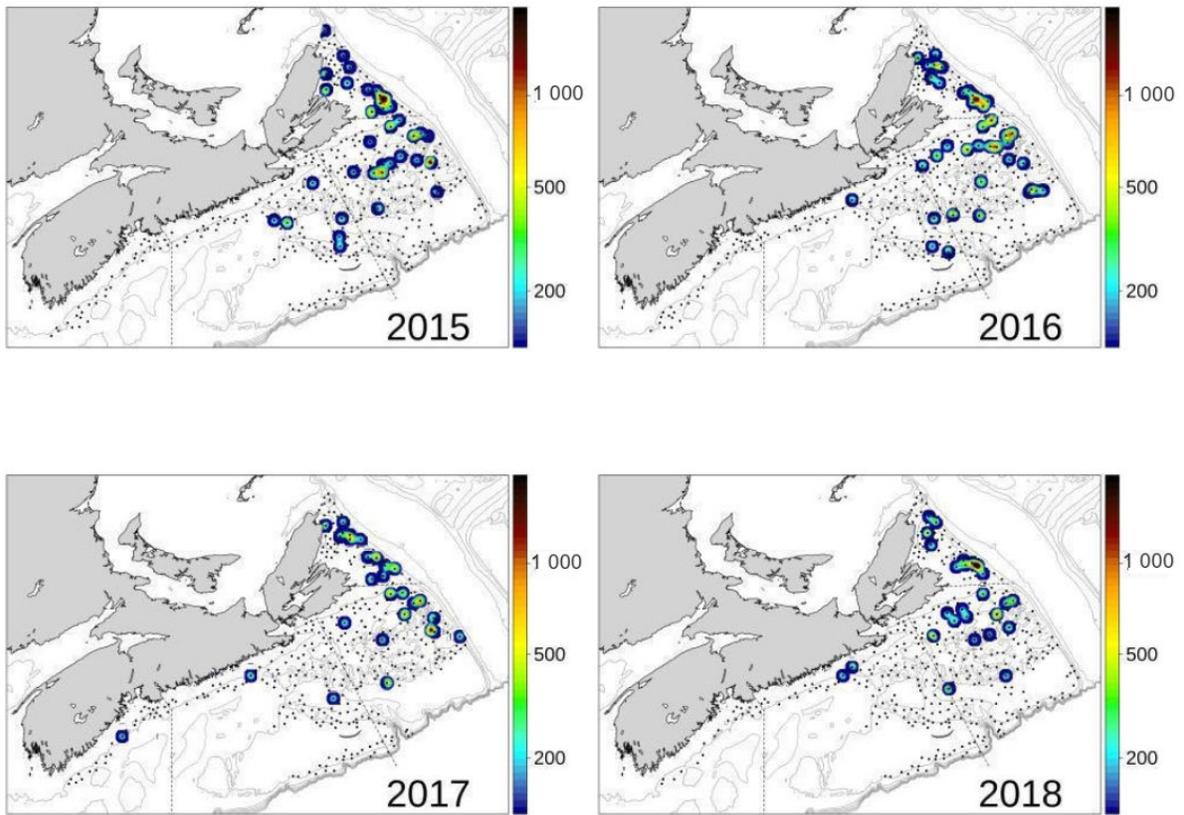


Figure 23. Emplacements des prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais d'après les relevés annuels du crabe des neiges : **loup atlantique**. Échelle : nombre/km<sup>2</sup>.

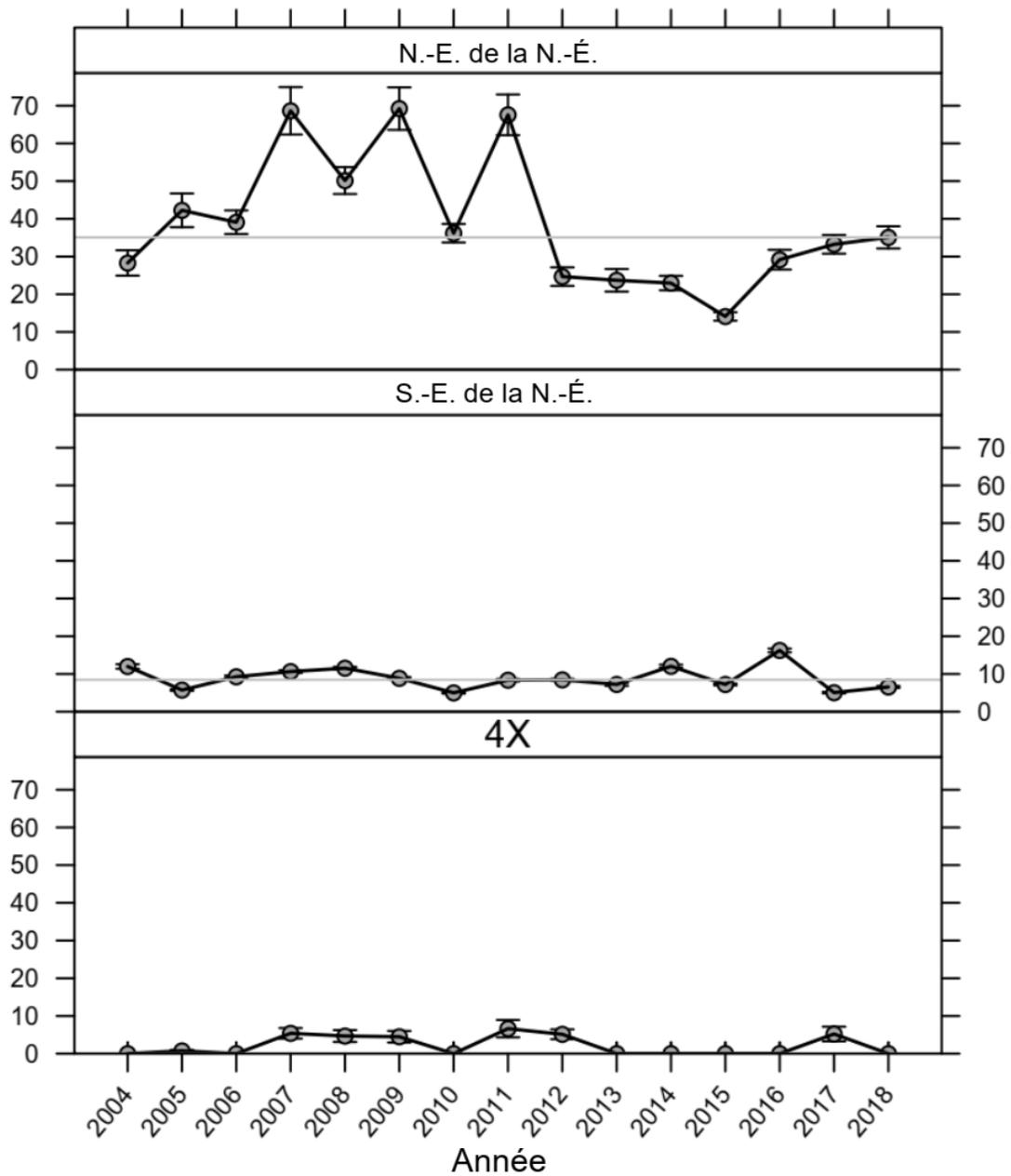


Figure 24. Tendances de la biomasse (kg/km<sup>2</sup>) pour les prédateurs potentiels du crabe des neiges d'après les relevés annuels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **loup atlantique**.

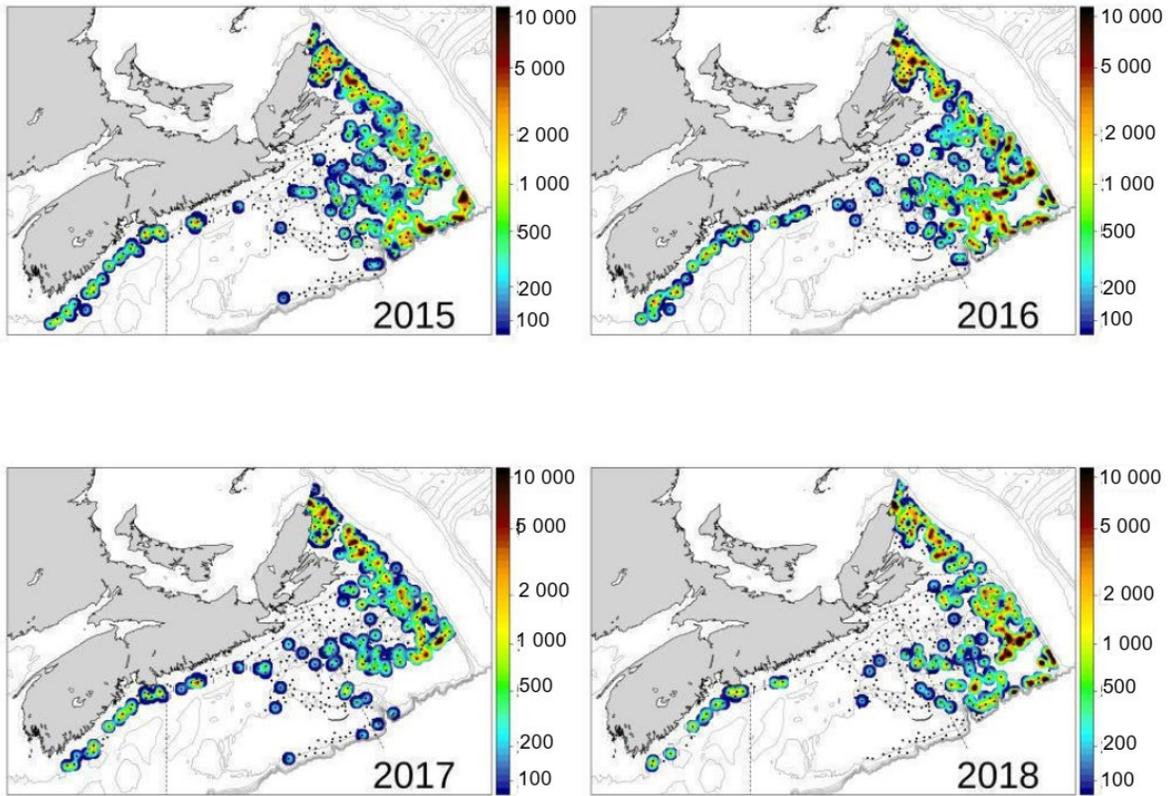


Figure 25. Emplacements des prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais d'après les relevés annuels du crabe des neiges : *raie épineuse*. Échelle : nombre/km<sup>2</sup>.

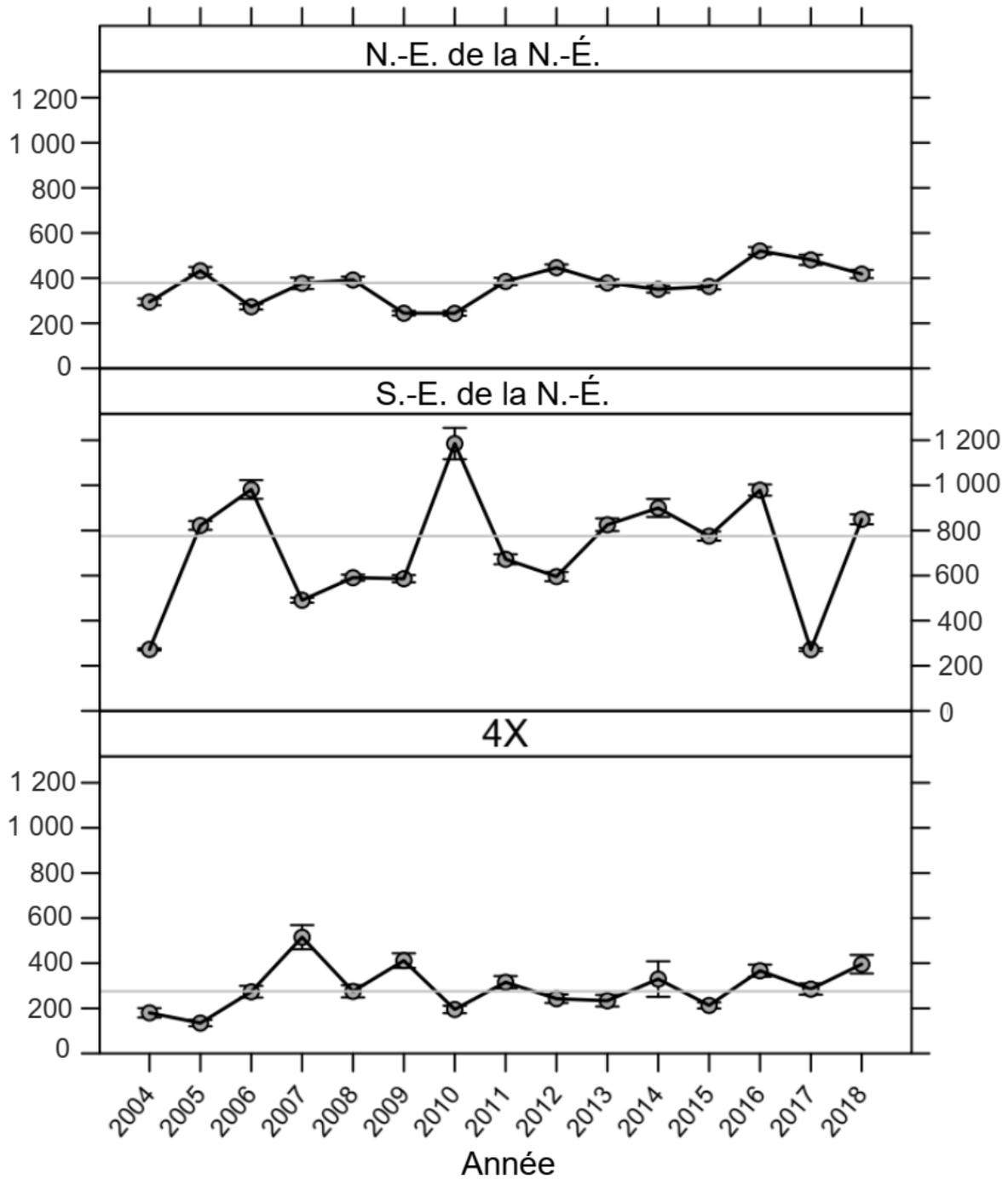


Figure 26. Tendances de la biomasse ( $\text{kg}/\text{km}^2$ ) pour les prédateurs potentiels du crabe des neiges d'après les relevés annuels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **raie épineuse**.

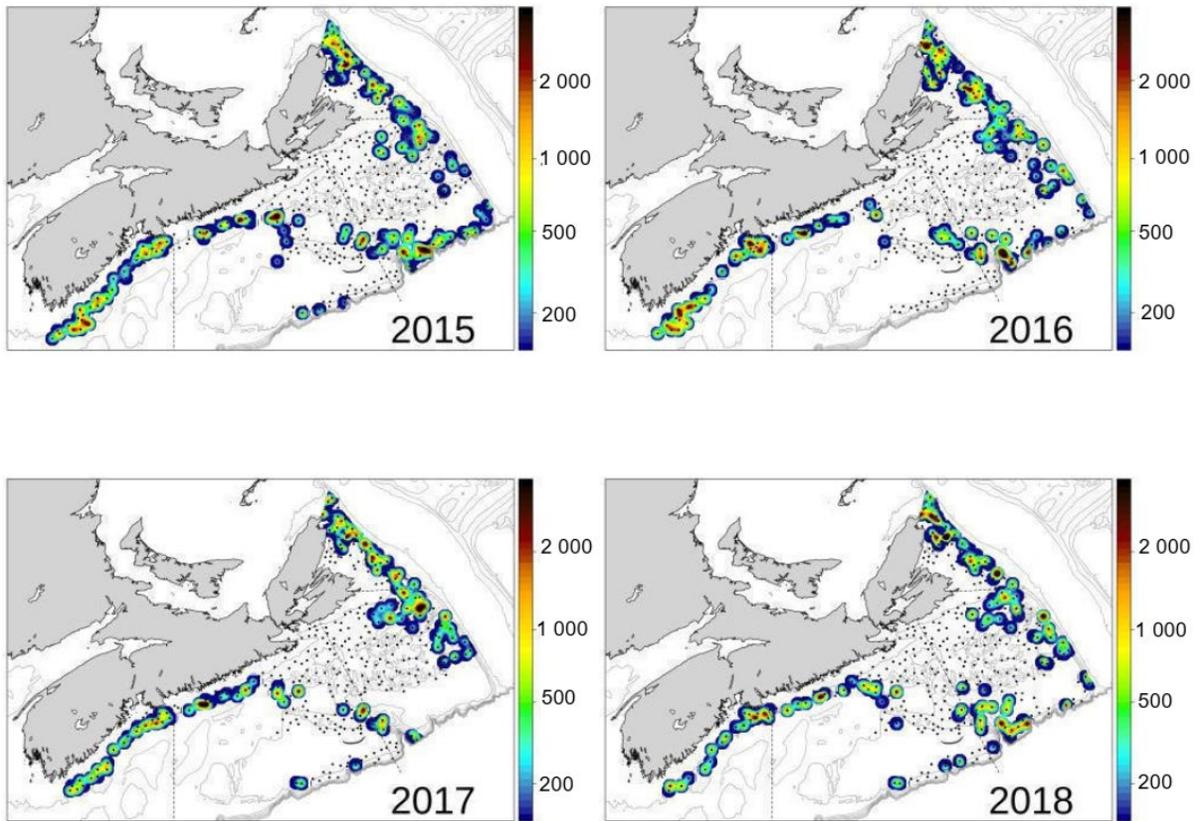


Figure 27. Emplacements des prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais d'après les relevés annuels du crabe des neiges : **raie à queue de velours**. Échelle : nombre/km<sup>2</sup>.

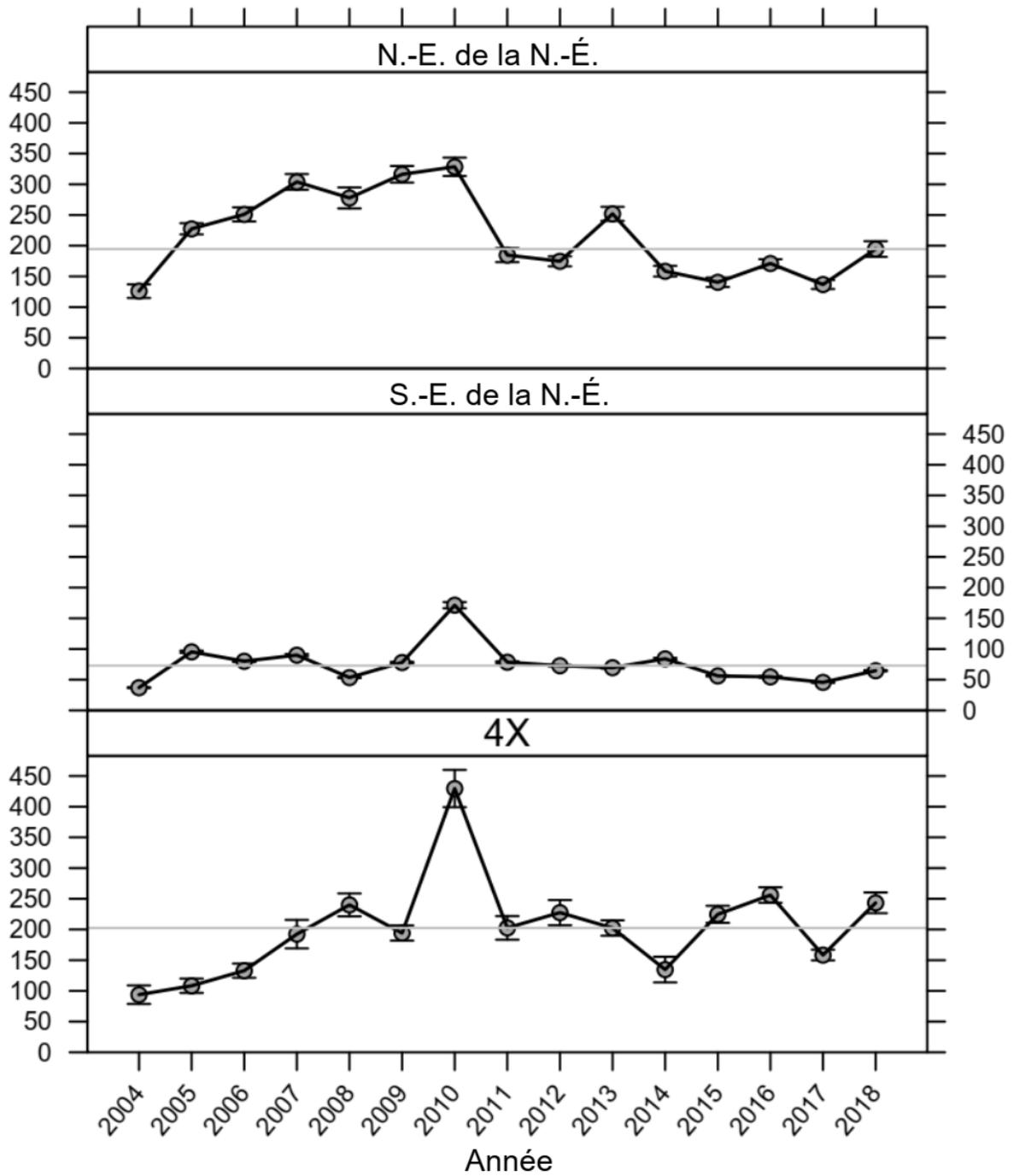


Figure 28. Tendances de la biomasse (kg/km<sup>2</sup>) pour les prédateurs potentiels du crabe des neiges d'après les relevés annuels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : raie à queue de velours.

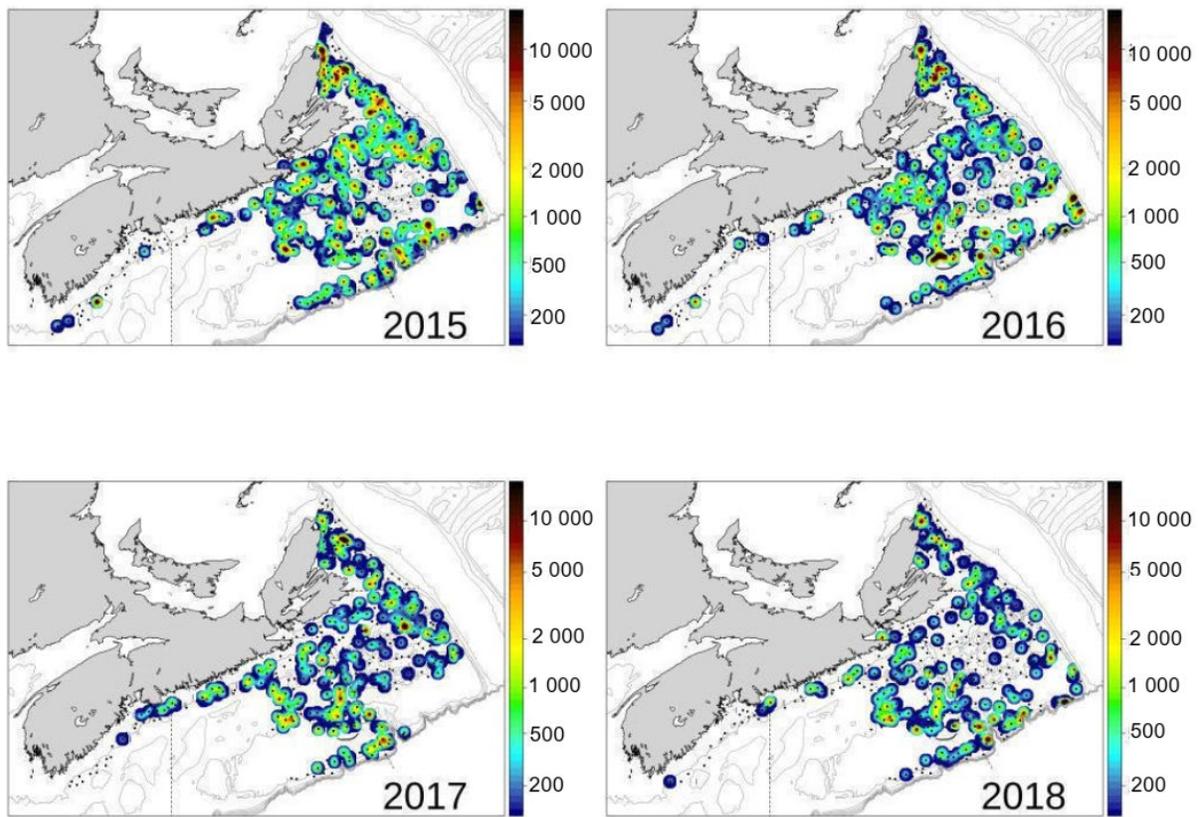


Figure 29. Emplacements des prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais d'après les relevés annuels du crabe des neiges : **morue franche**. Échelle : nombre/km<sup>2</sup>.

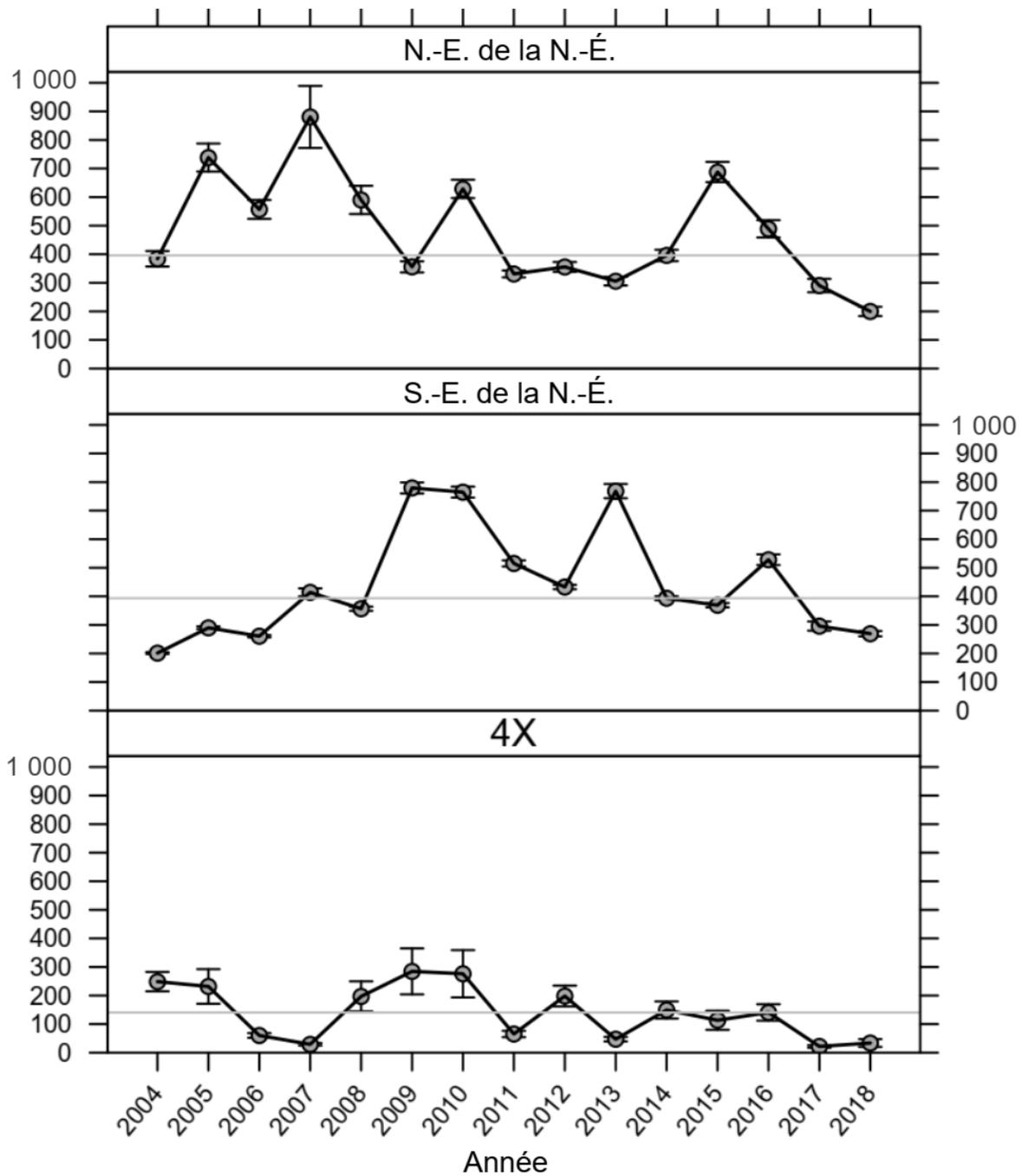


Figure 30. Tendances de la biomasse (kg/km<sup>2</sup>) pour les prédateurs potentiels du crabe des neiges d'après les relevés annuels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **morue franche**.

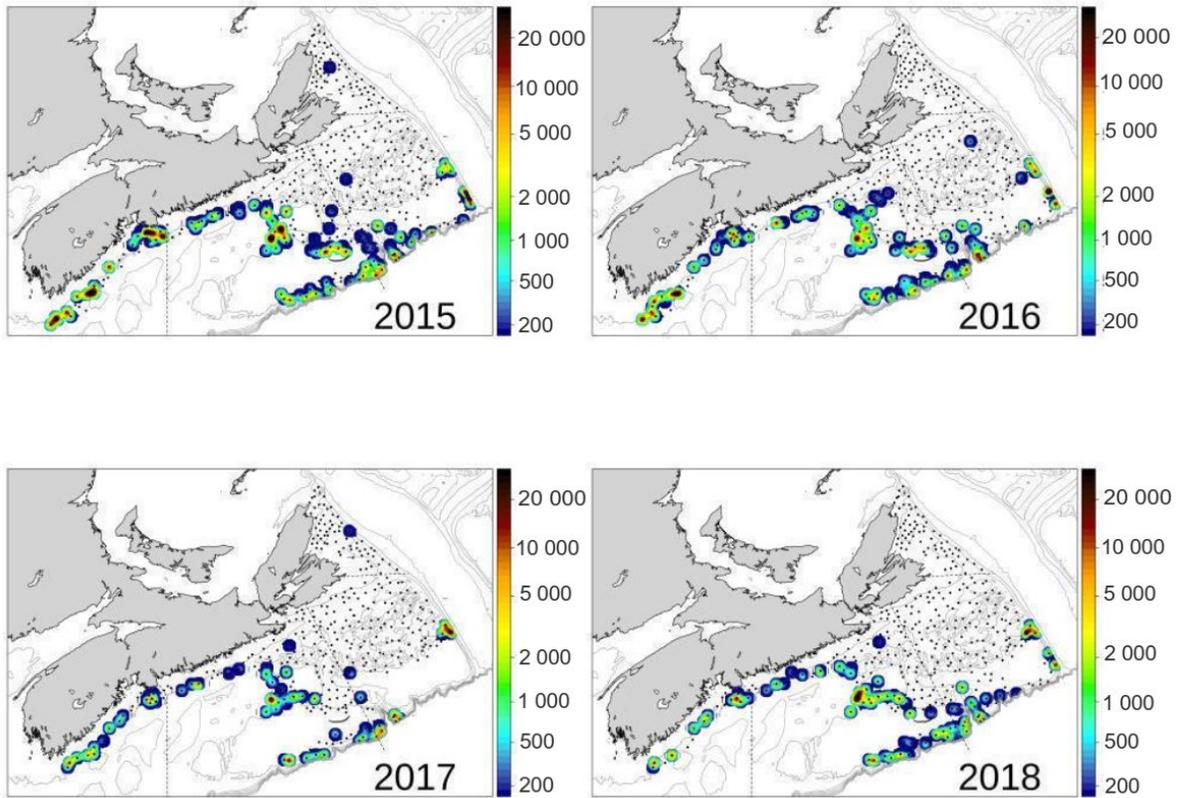


Figure 31. Emplacements des prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais d'après les relevés annuels du crabe des neiges : **aiglefin**. Échelle : nombre/km<sup>2</sup>.

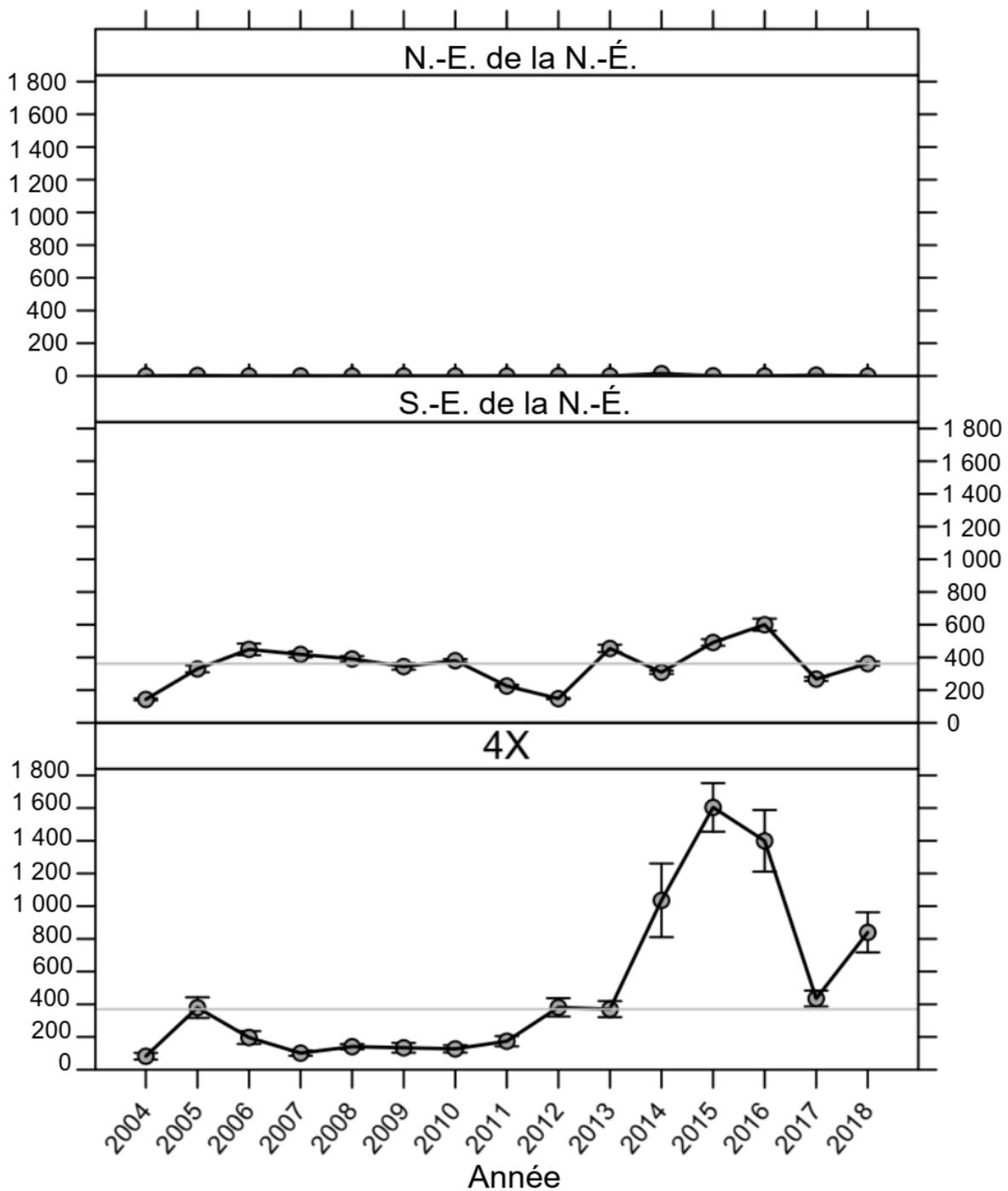


Figure 32. Tendances de la biomasse (kg/km<sup>2</sup>) pour les prédateurs potentiels du crabe des neiges d'après les relevés annuels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **aiglefin**.

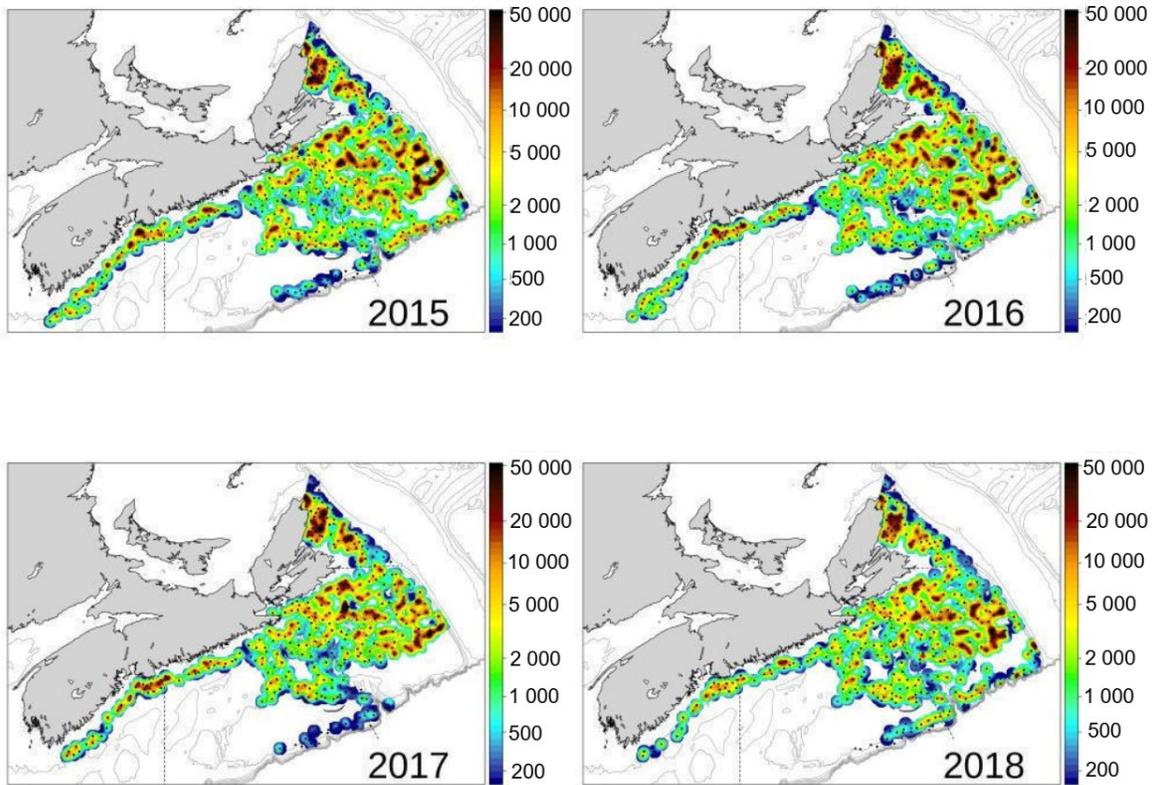


Figure 33. Emplacements des prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais d'après les relevés annuels du crabe des neiges : **plie canadienne**. Échelle : nombre/km<sup>2</sup>.

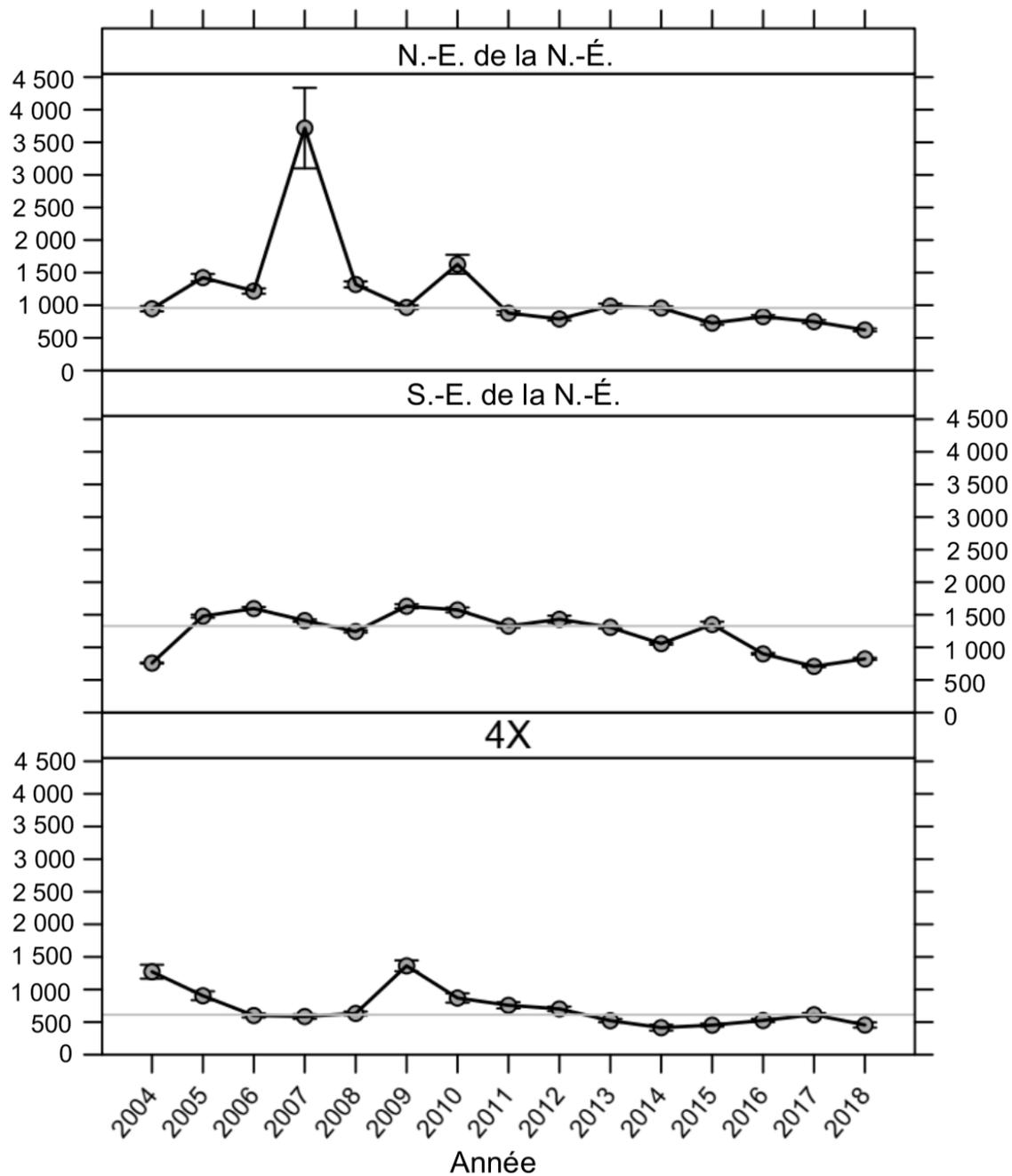


Figure 34. Tendances de la biomasse (kg/km<sup>2</sup>) pour les prédateurs potentiels du crabe des neiges d'après les relevés annuels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **plie canadienne**.

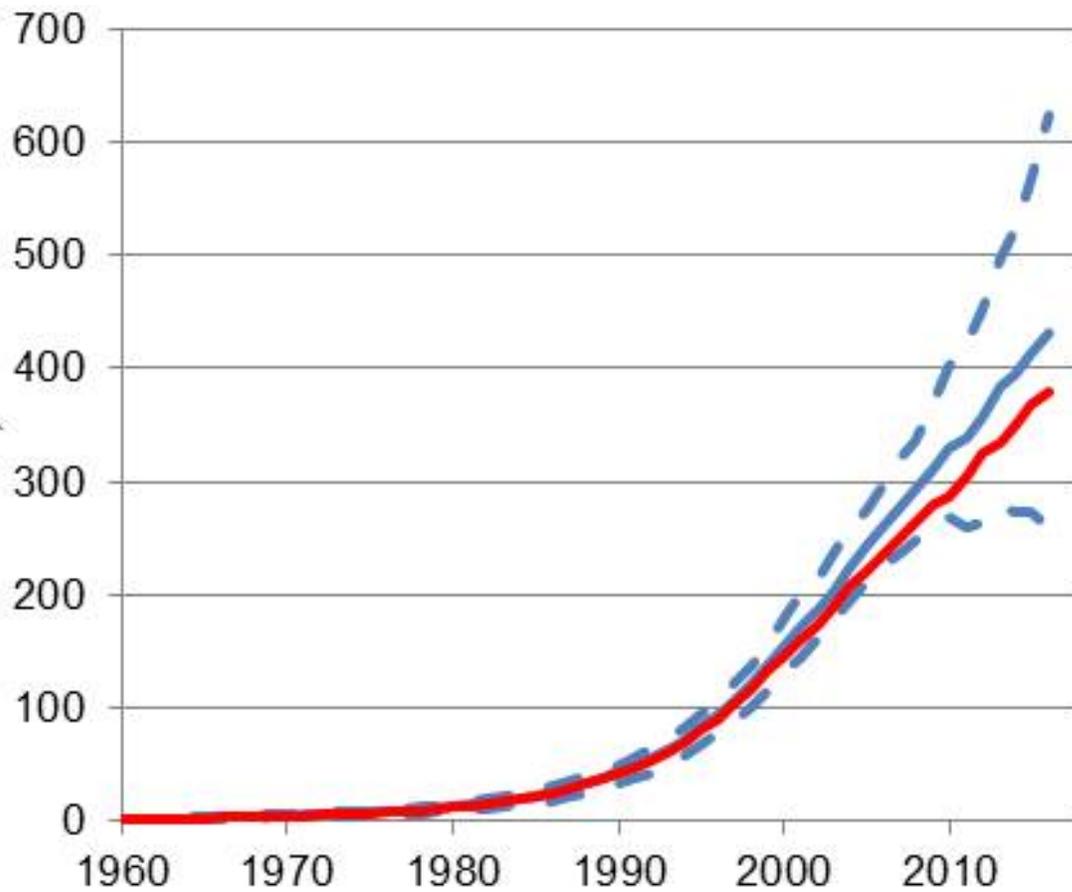


Figure 35. Tendances de l'abondance numérique (en milliers) du phoque gris sur le plateau néo-écossais. La ligne bleue représente un ratio mâle/femelle de 1:1 et la ligne rouge, un ratio de 0,69:1. Source : MPO 2017a.

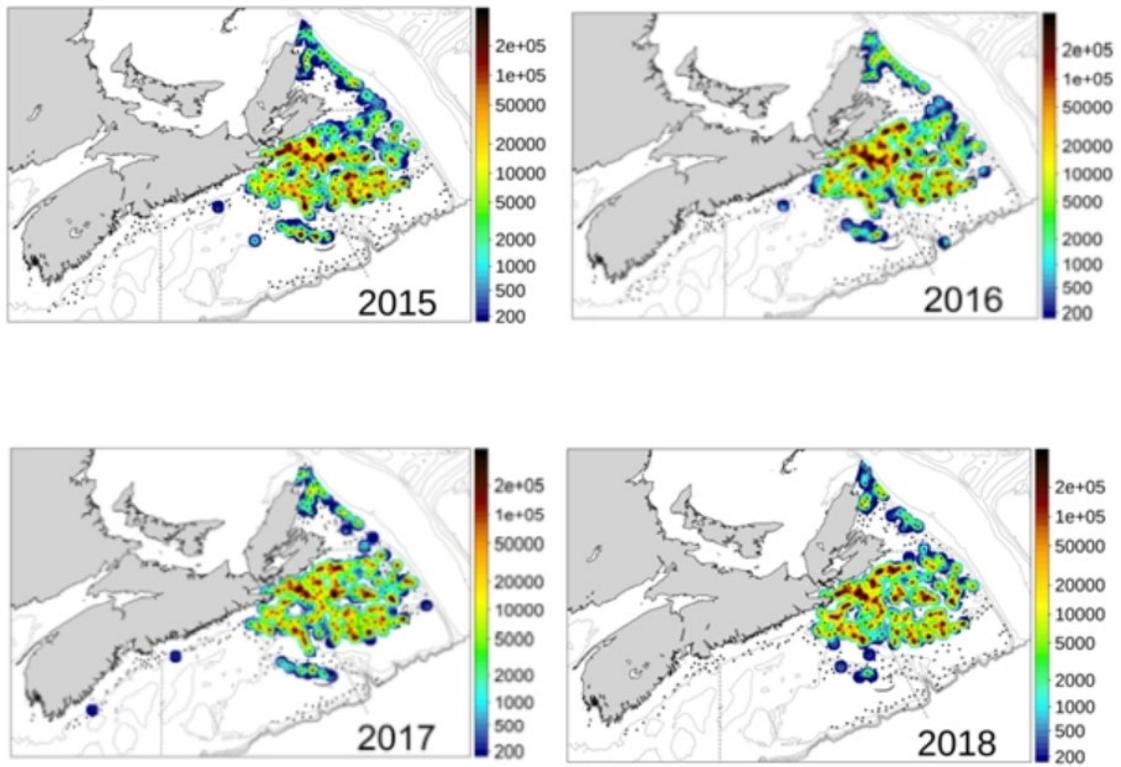


Figure 36. Emplacements des proies potentielles du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais d'après les relevés annuels du crabe des neiges : **crevette nordique**. Échelle : nombre/km<sup>2</sup>.

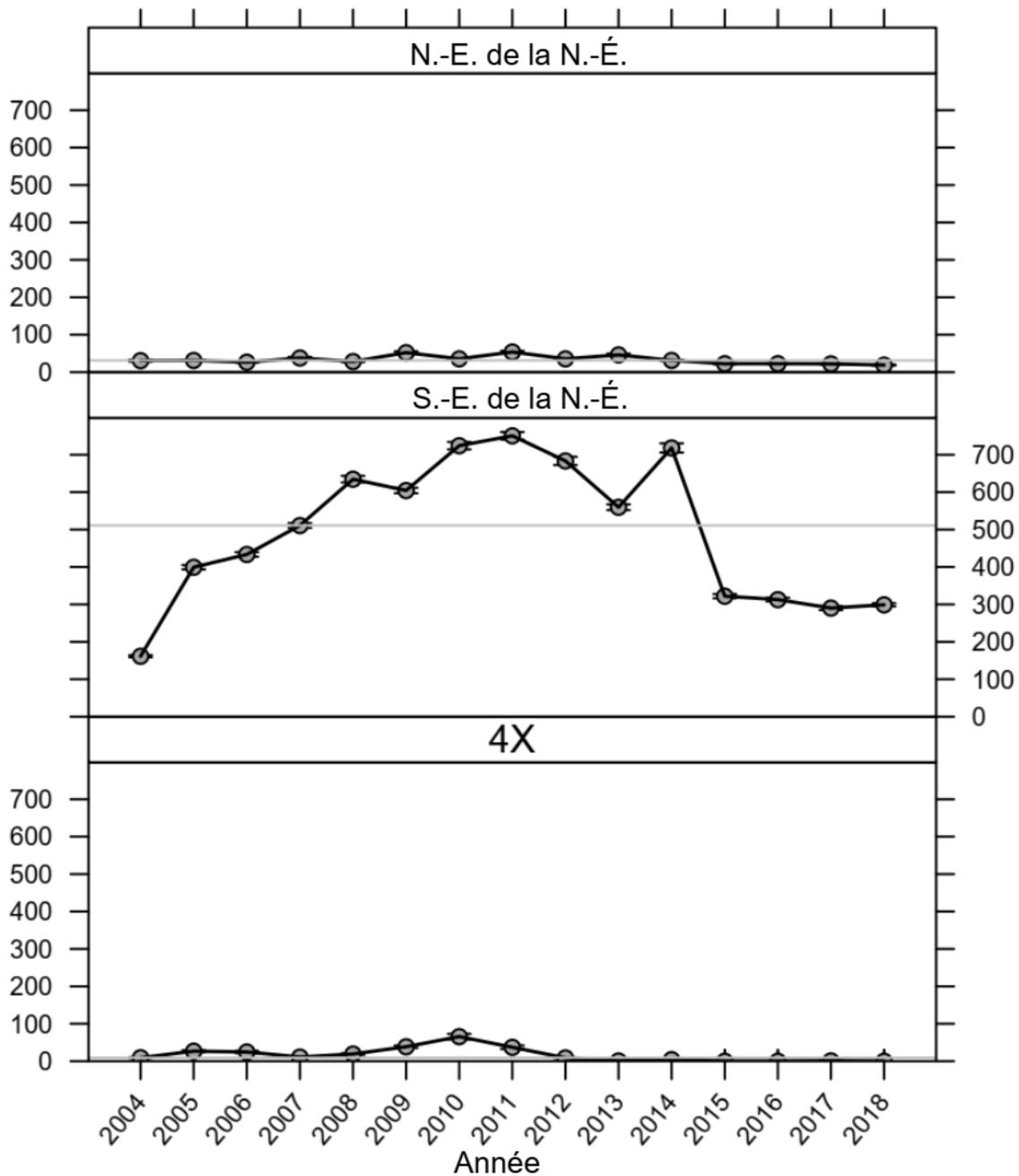


Figure 37. Tendances de la biomasse (kg/km<sup>2</sup>) pour les proies potentielles du crabe des neiges d'après les relevés annuels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **crevette nordique**.

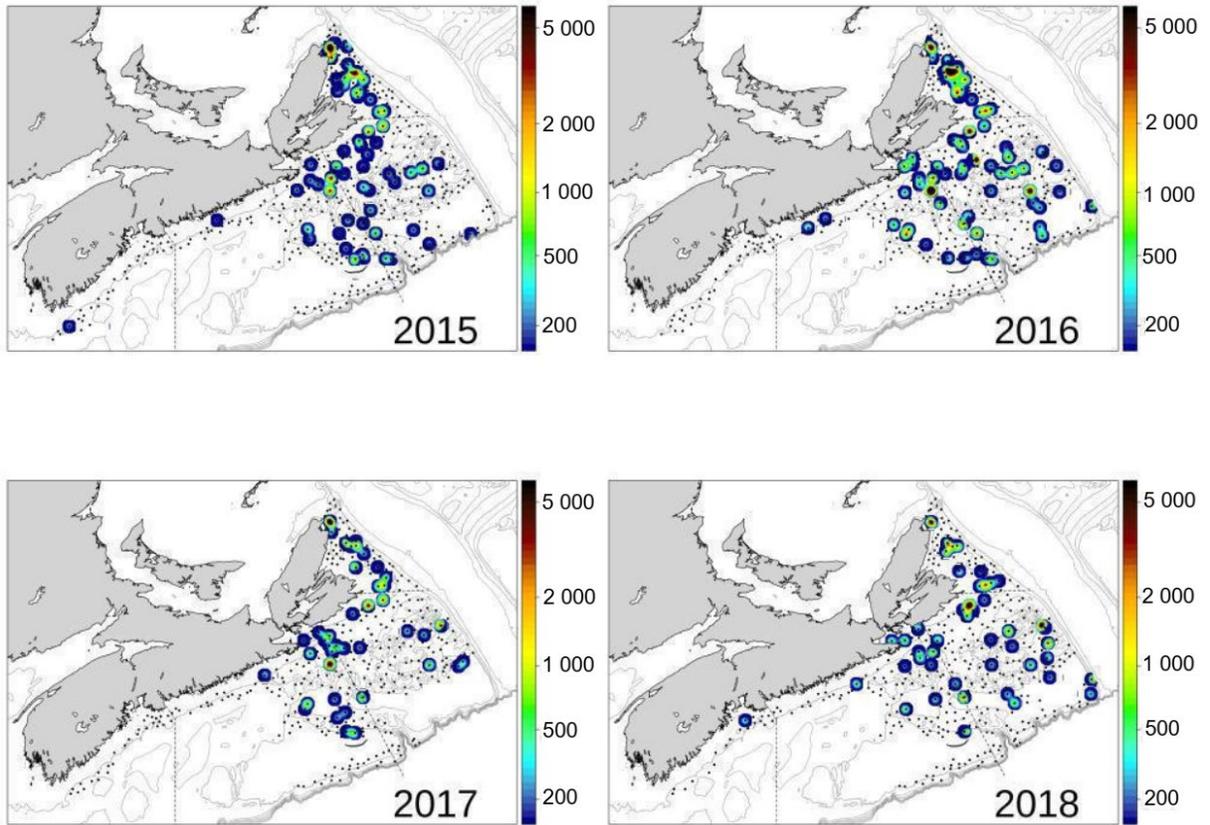


Figure 38. Emplacements des concurrents potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais d'après les relevés annuels du crabe des neiges : *crabe-araignée*. Échelle : nombre/km<sup>2</sup>.

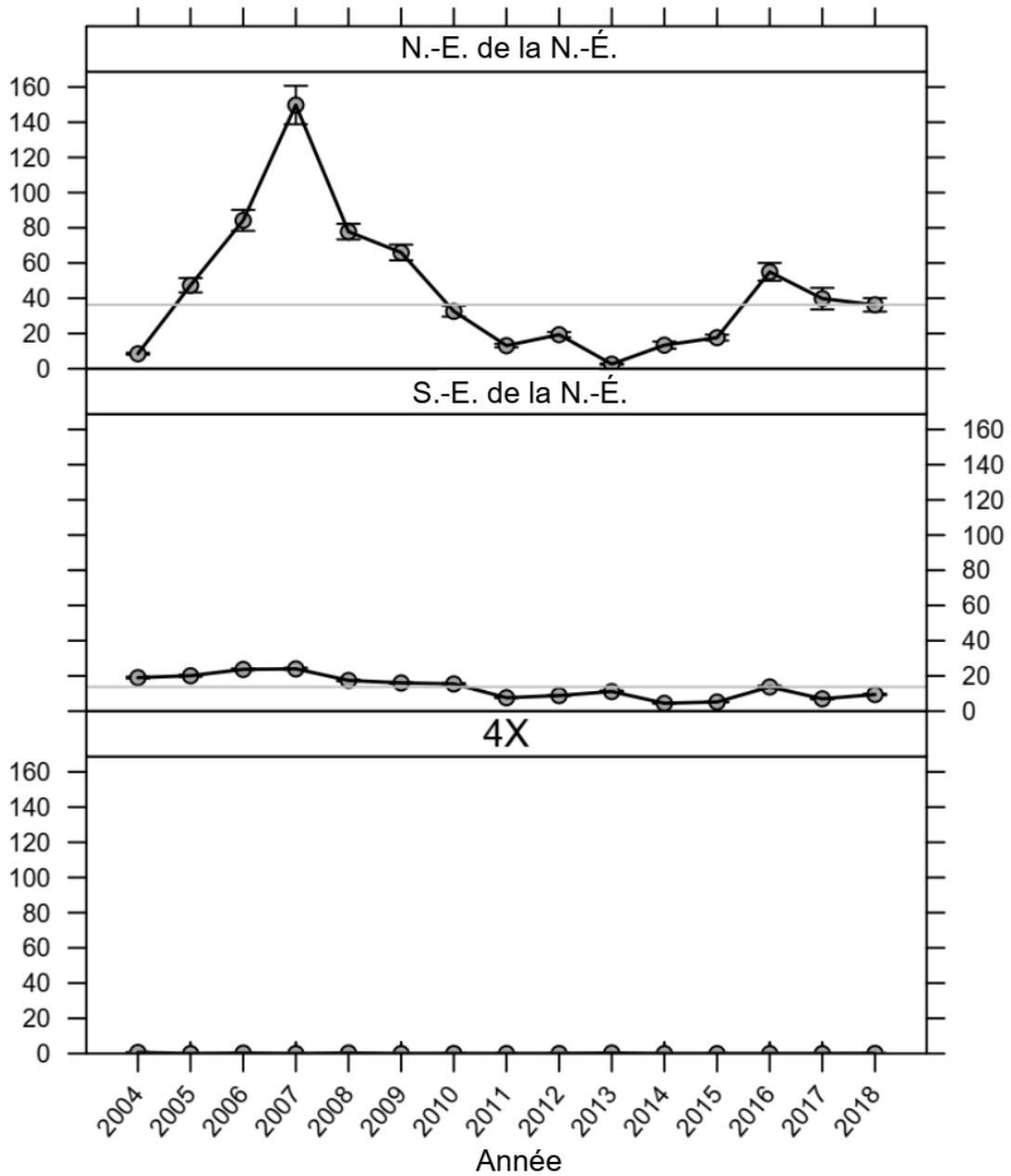


Figure 39. Tendances de la biomasse (kg/km<sup>2</sup>) pour les concurrents potentiels du crabe des neiges d'après les relevés annuels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **crabe-araignée**.

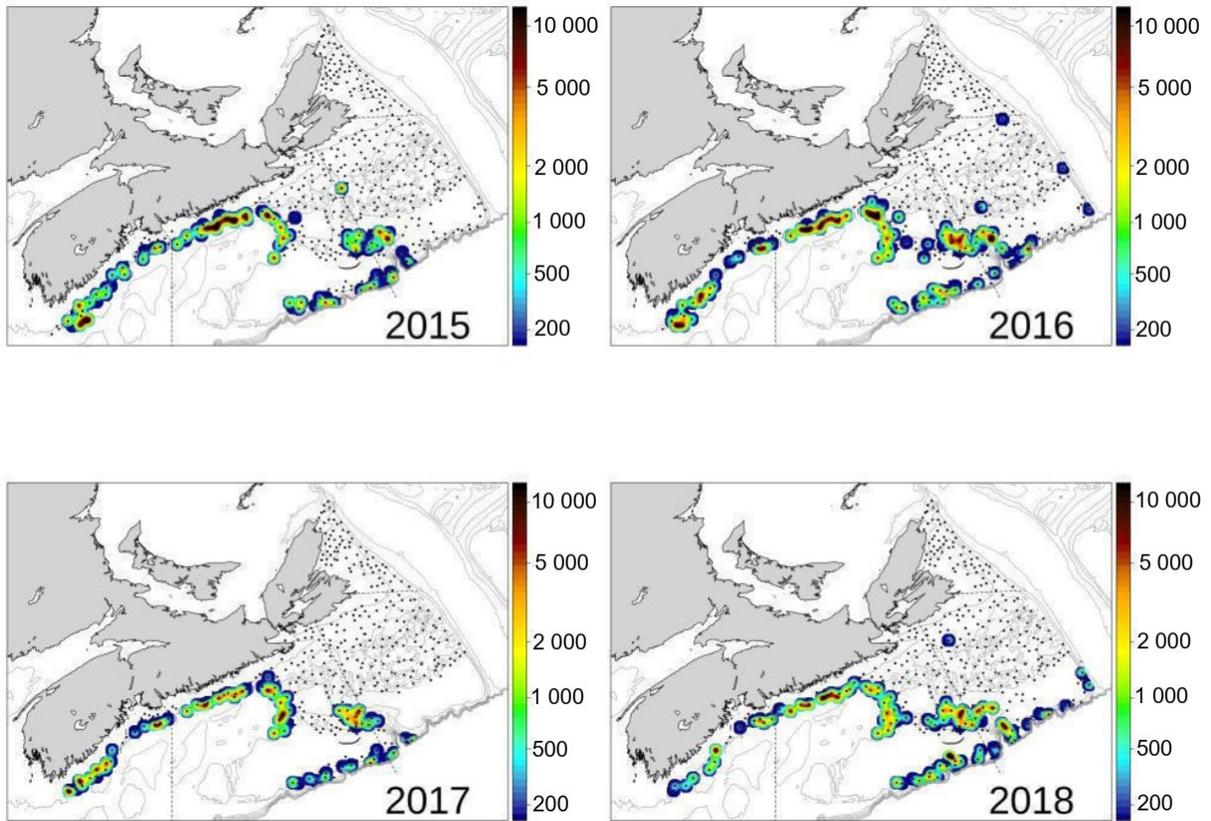


Figure 40. Emplacements des concurrents potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais d'après les relevés annuels du crabe des neiges : **crabe nordique**. Échelle : nombre/km<sup>2</sup>.

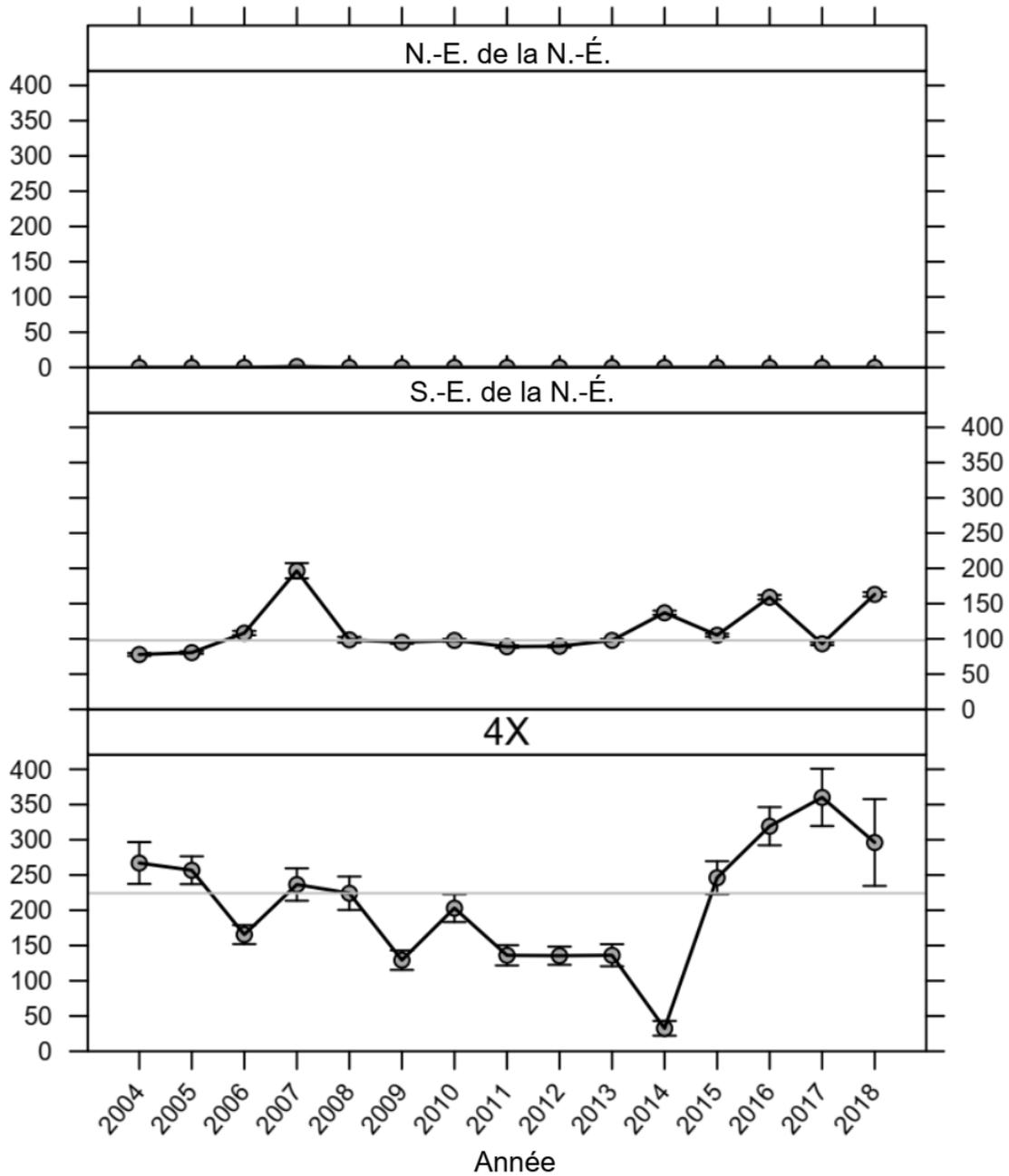


Figure 41. Tendances de la biomasse (kg/km<sup>2</sup>) pour les concurrents potentiels du crabe des neiges d'après les relevés annuels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **crabe nordique**.

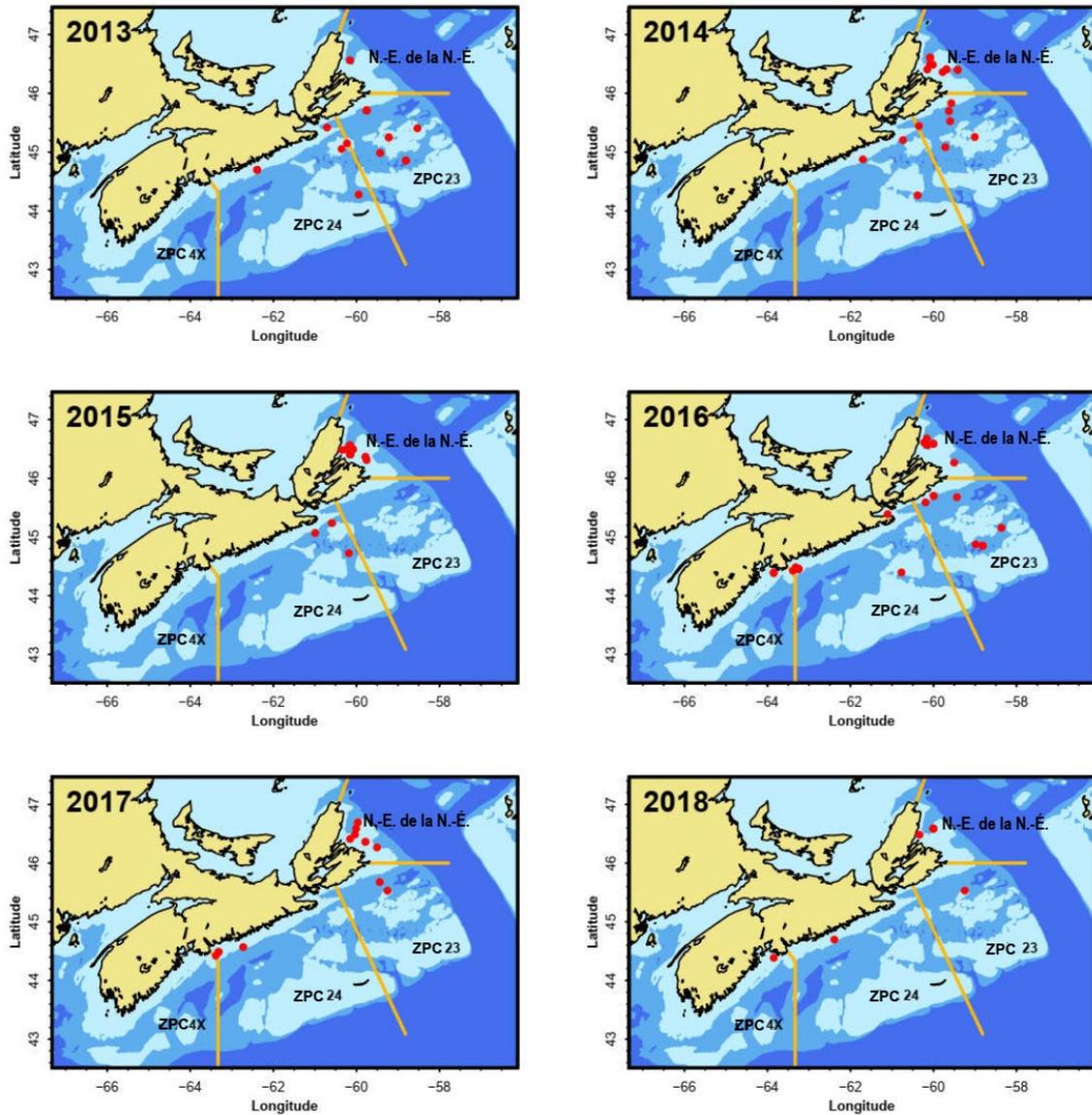


Figure 42. Emplacements des observations de la maladie du crabe amer dans les relevés au chalut du crabe des neiges, par année.

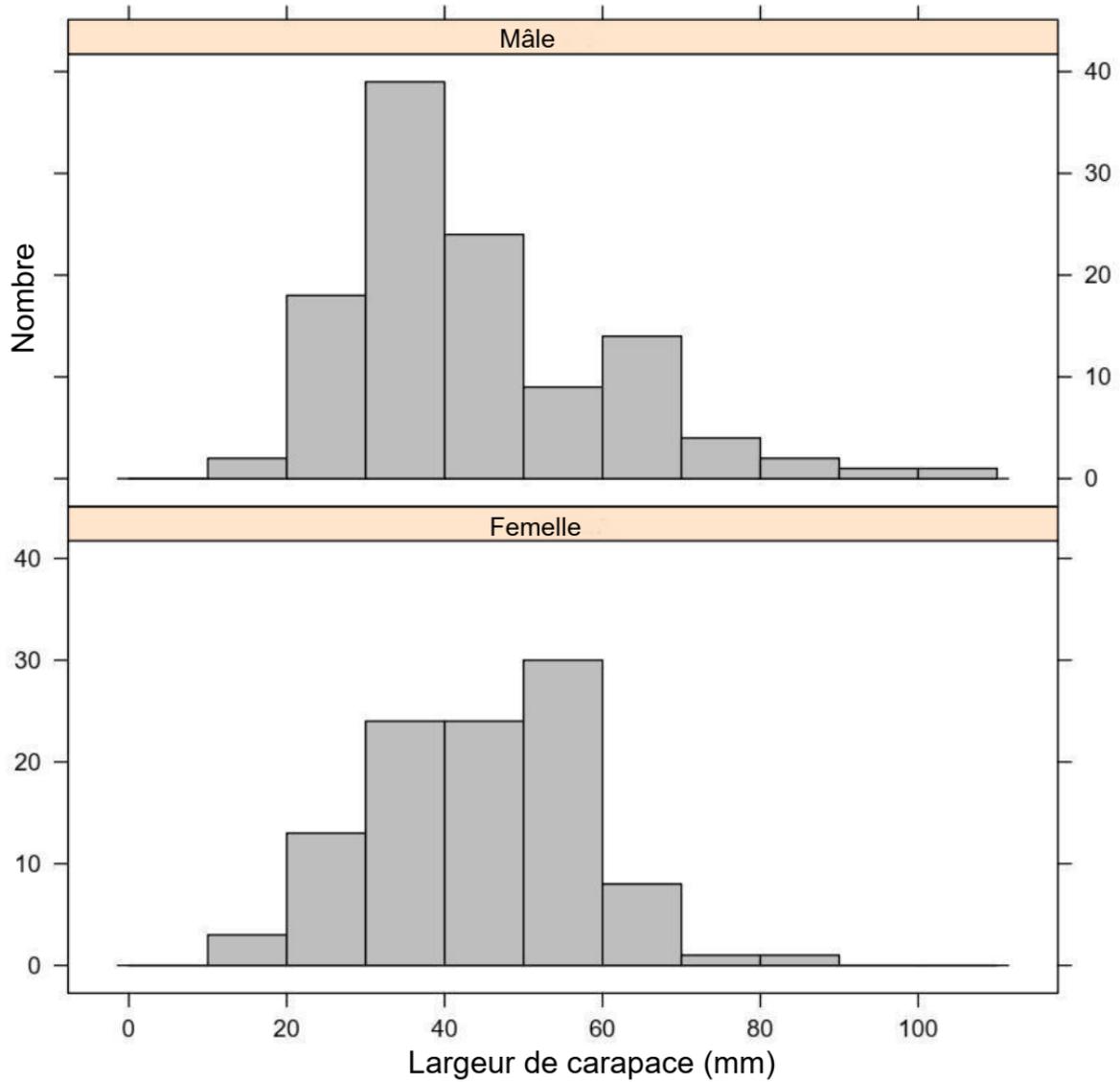


Figure 43. Répartition de la fréquence des tailles de crabe des neiges visiblement atteints de la maladie du crabe amer depuis 2009.

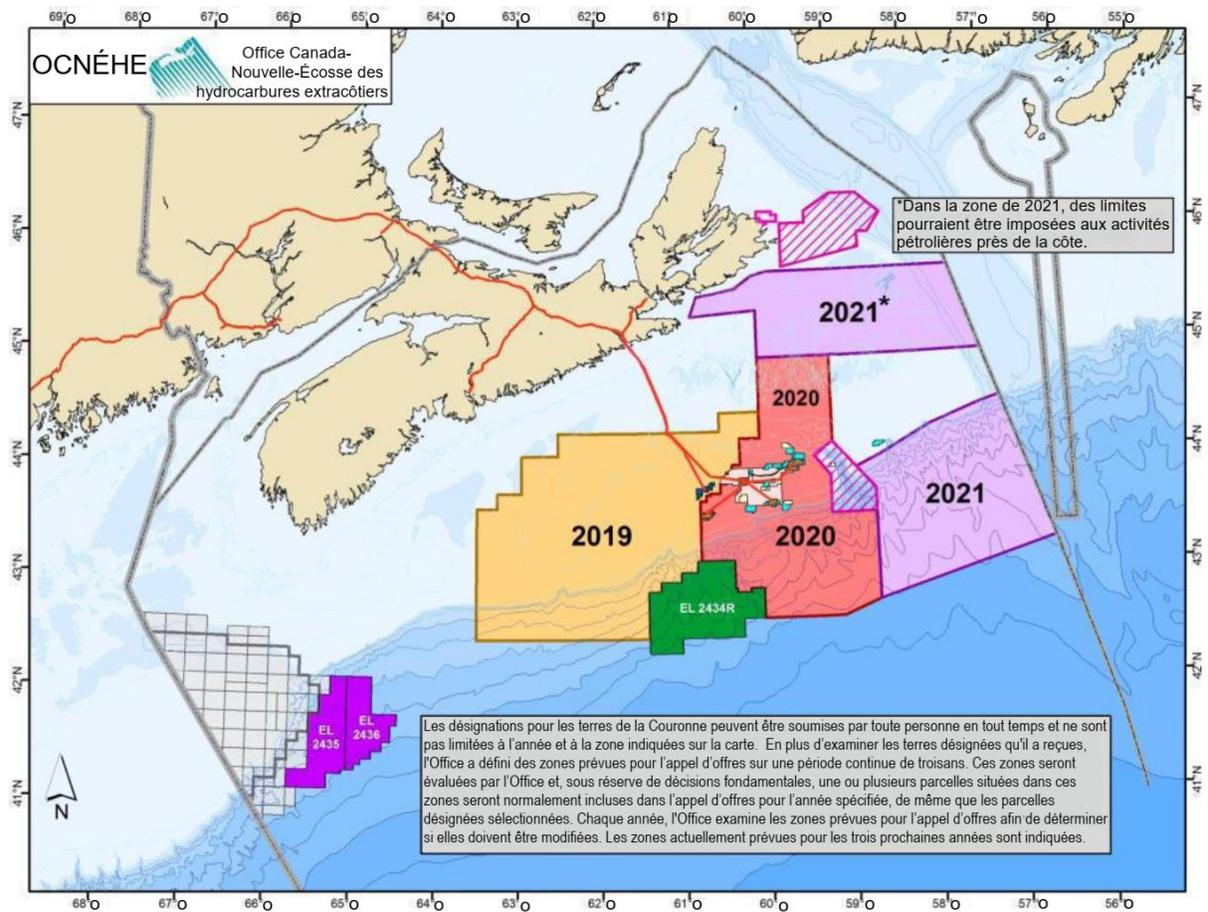


Figure 44. Carte de l'appel d'offres actuel de l'Office Canada–Nouvelle-Écosse des hydrocarbures extracôtiers pour des activités d'exploration.

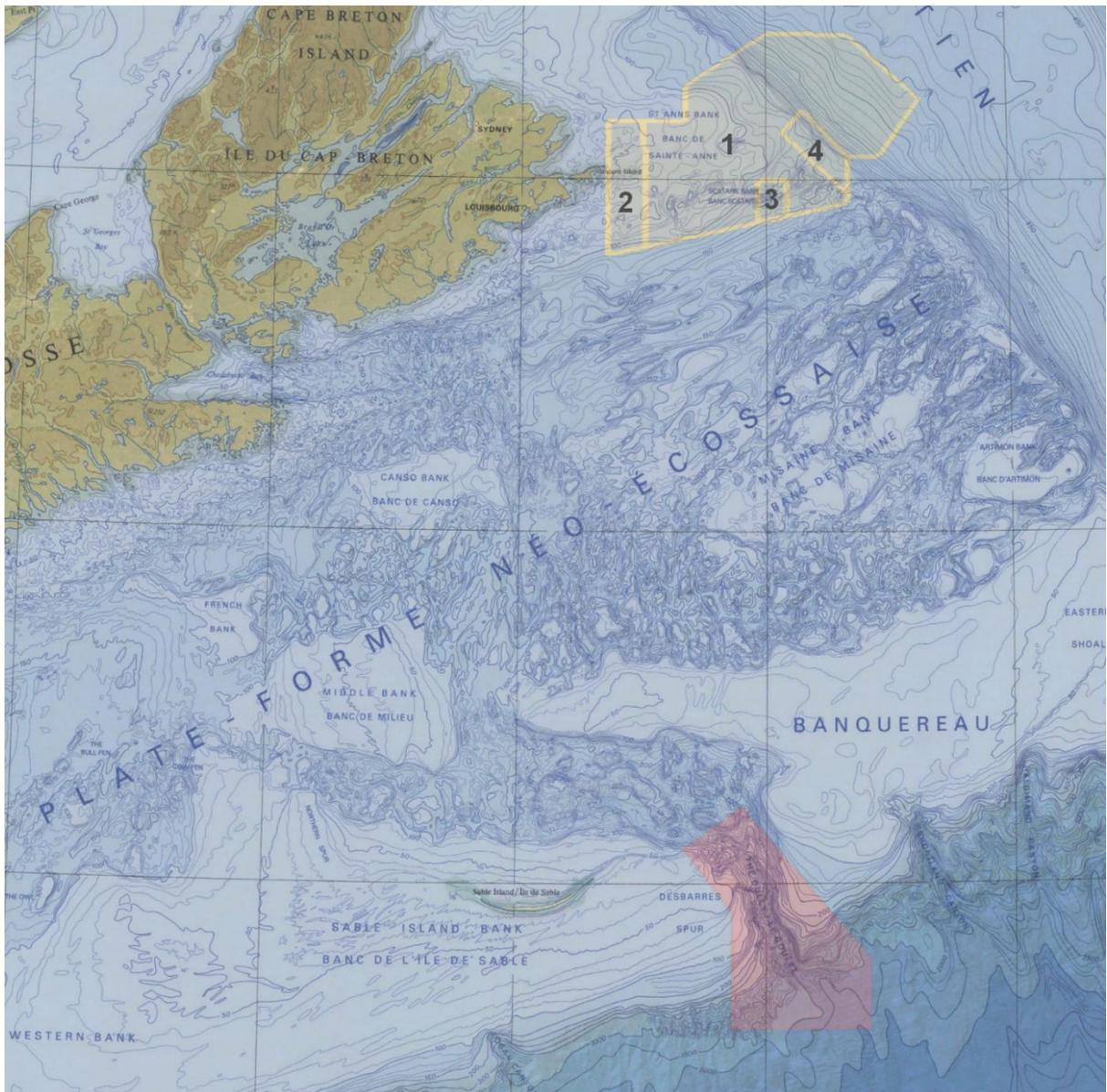


Figure 45. Aires marines protégées dans l'est du plateau néo-écossais. Jaune : Zone de protection marine du banc de Saint-Anne avec désignation de sous-zones. Rouge : Le Gully.

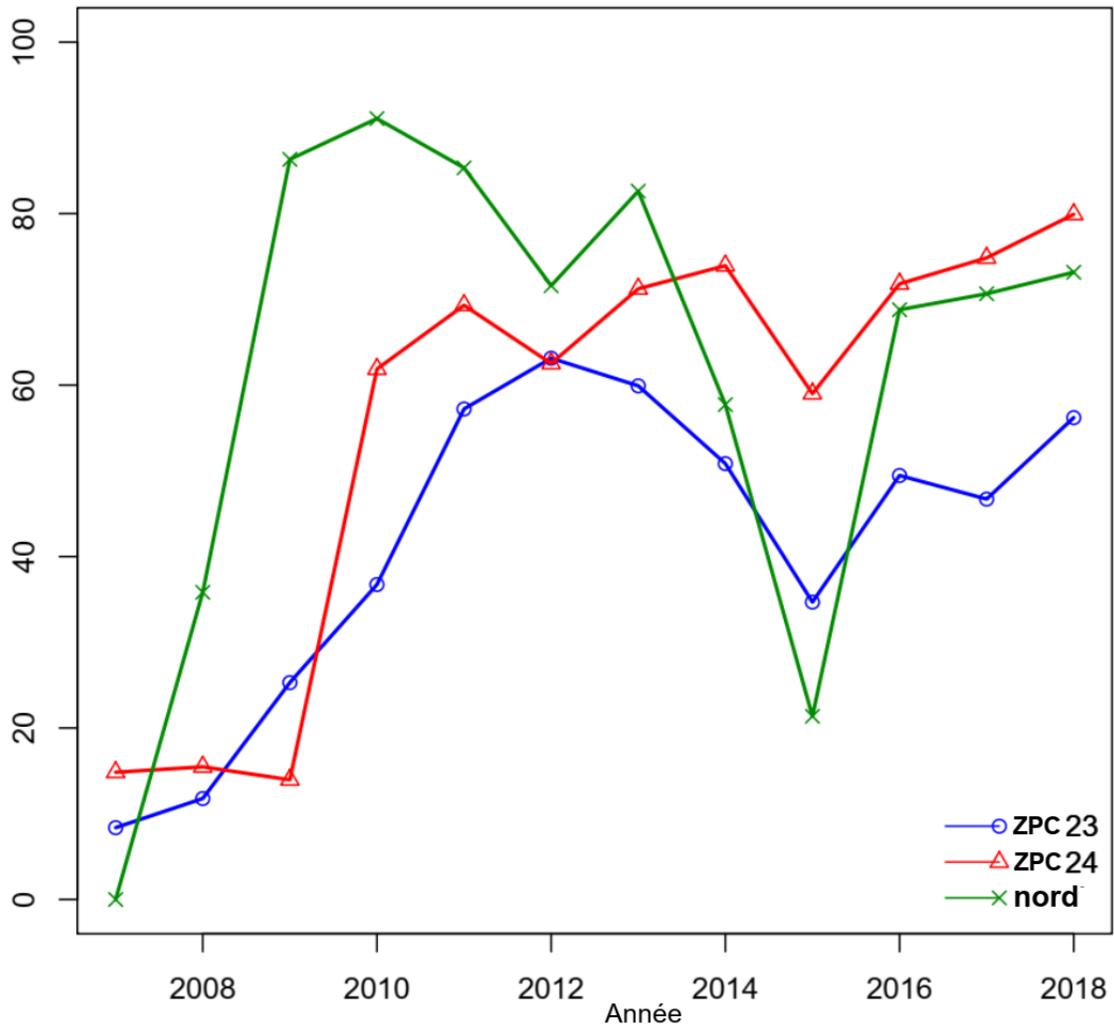


Figure 46. Pourcentage du total annuel des débarquements de crabe des neiges capturé au cours des mois d'avril à juin séparés par une zone de pêche du crabe (ZPC).

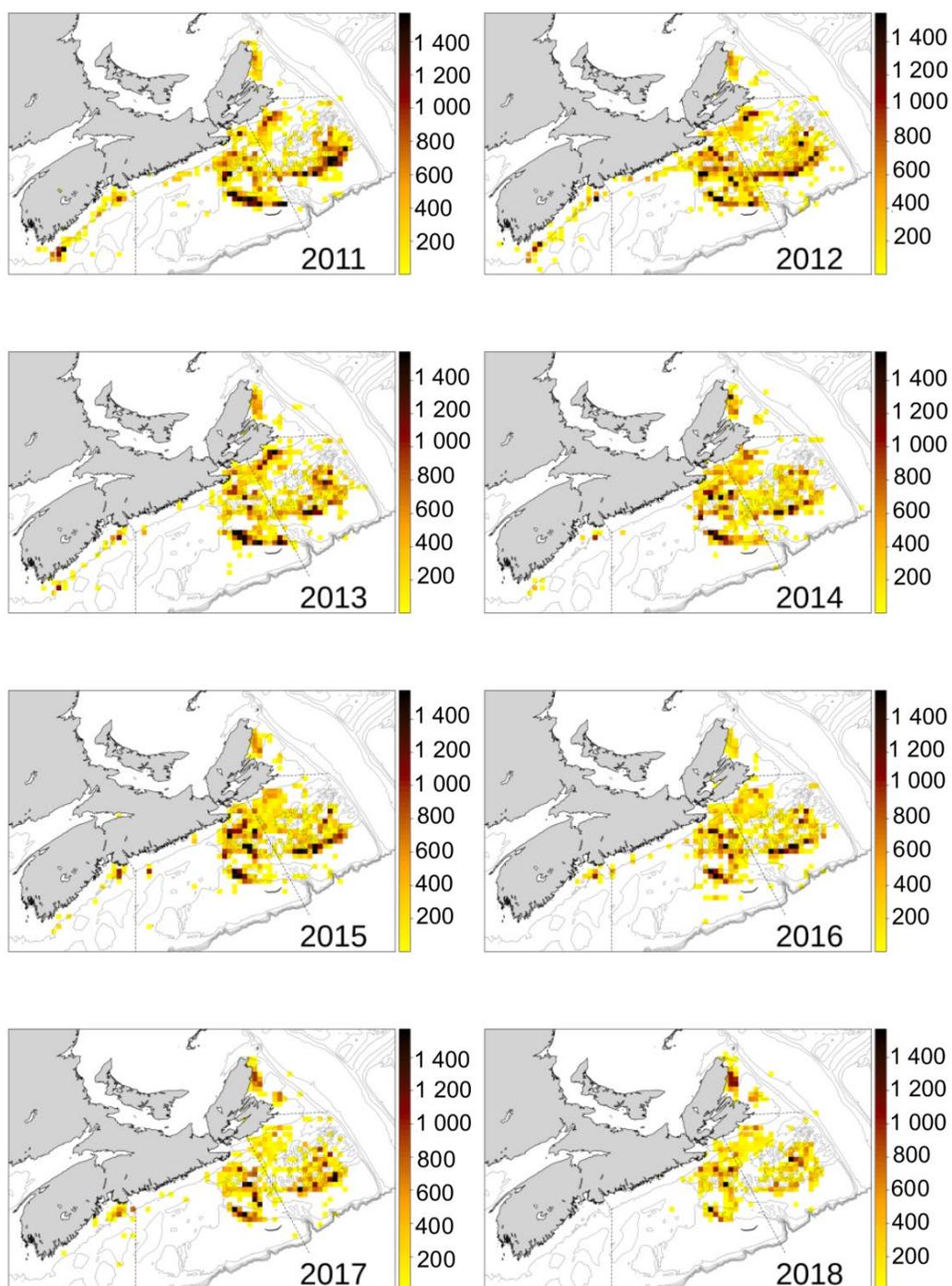


Figure 47. Effort de pêche (nombre de casiers levés dans chaque cellule de grille mesurant 10 x 10 km) d'après les données des journaux de bord des pêcheurs. Pour ce qui est de la ZPC 4X, l'année indiquée est celle du début de la saison.

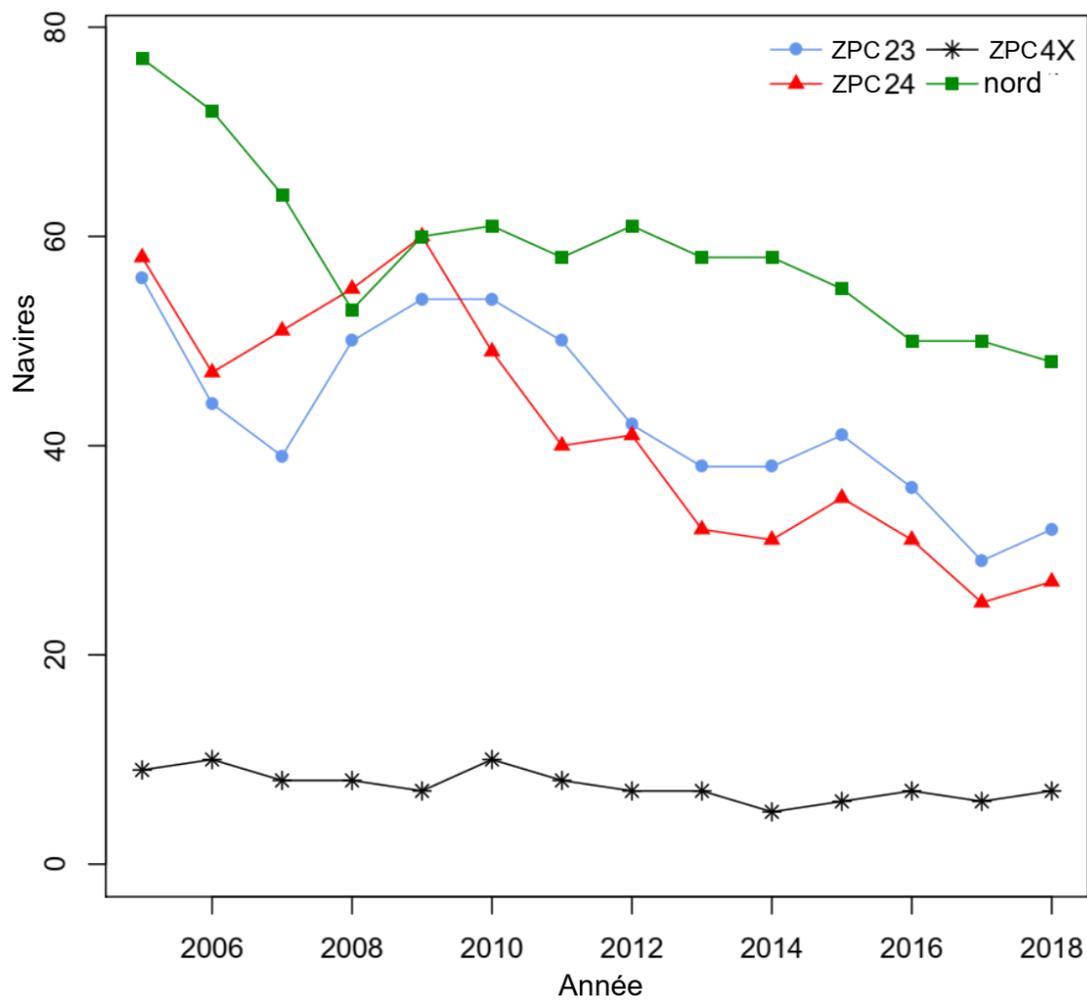


Figure 48. Nombre de navires de pêche actifs dans chacune des zones de pêche du crabe des neiges de l'EPN. On a divisé le sud-est de la Nouvelle-Écosse en deux zones (ZPC 23 et 24) afin d'assurer la cohérence avec les renseignements historiques. Le nombre de permis dans chaque zone est stable depuis 2004.

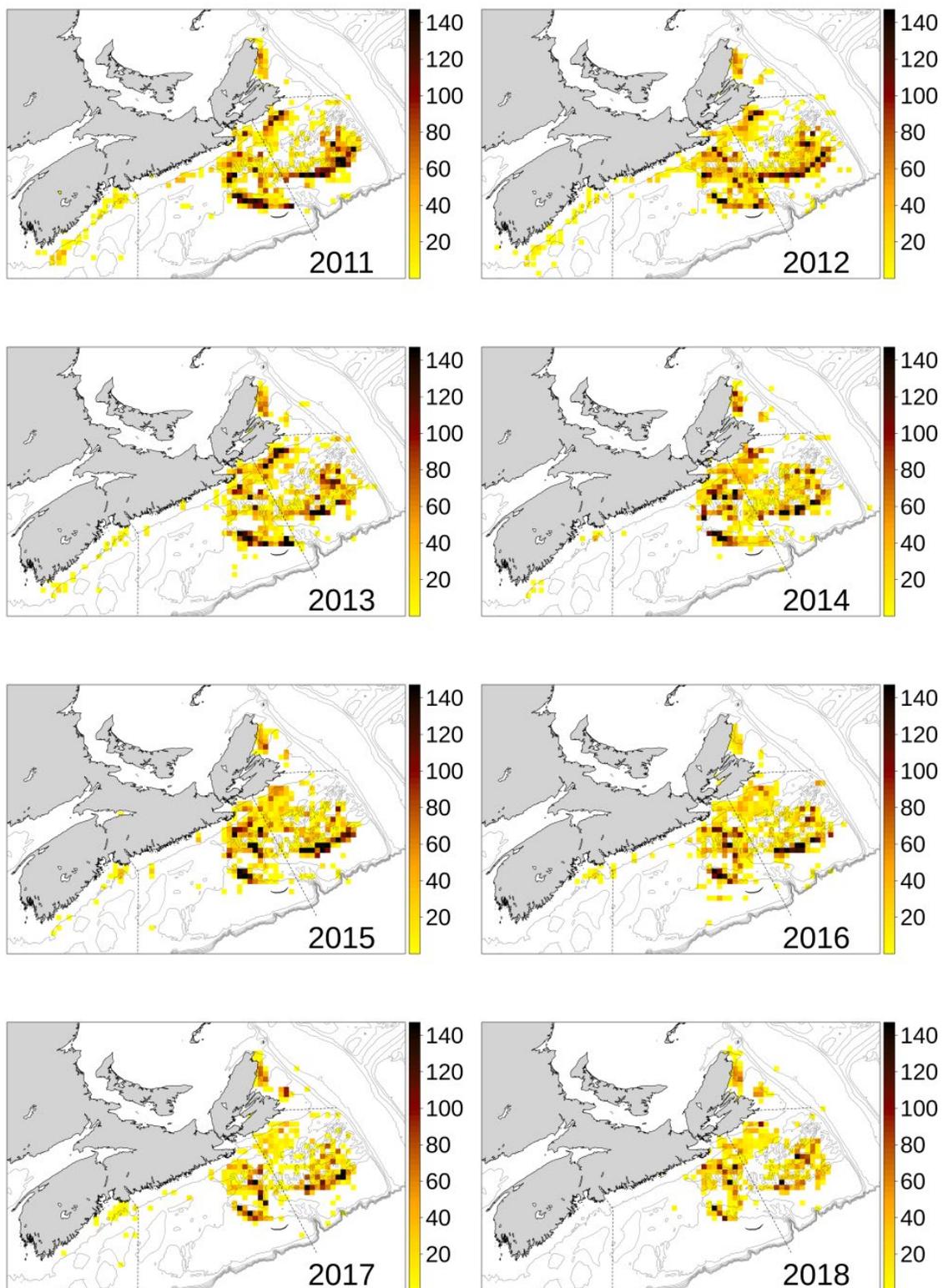


Figure 49. Débarquements de crabe des neiges (tonnes par cellule de grille mesurant 10 x 10 km) d'après les données des journaux de bord des pêcheurs. Pour ce qui est de la ZPC 4X, l'année indiquée est celle du début de la saison.

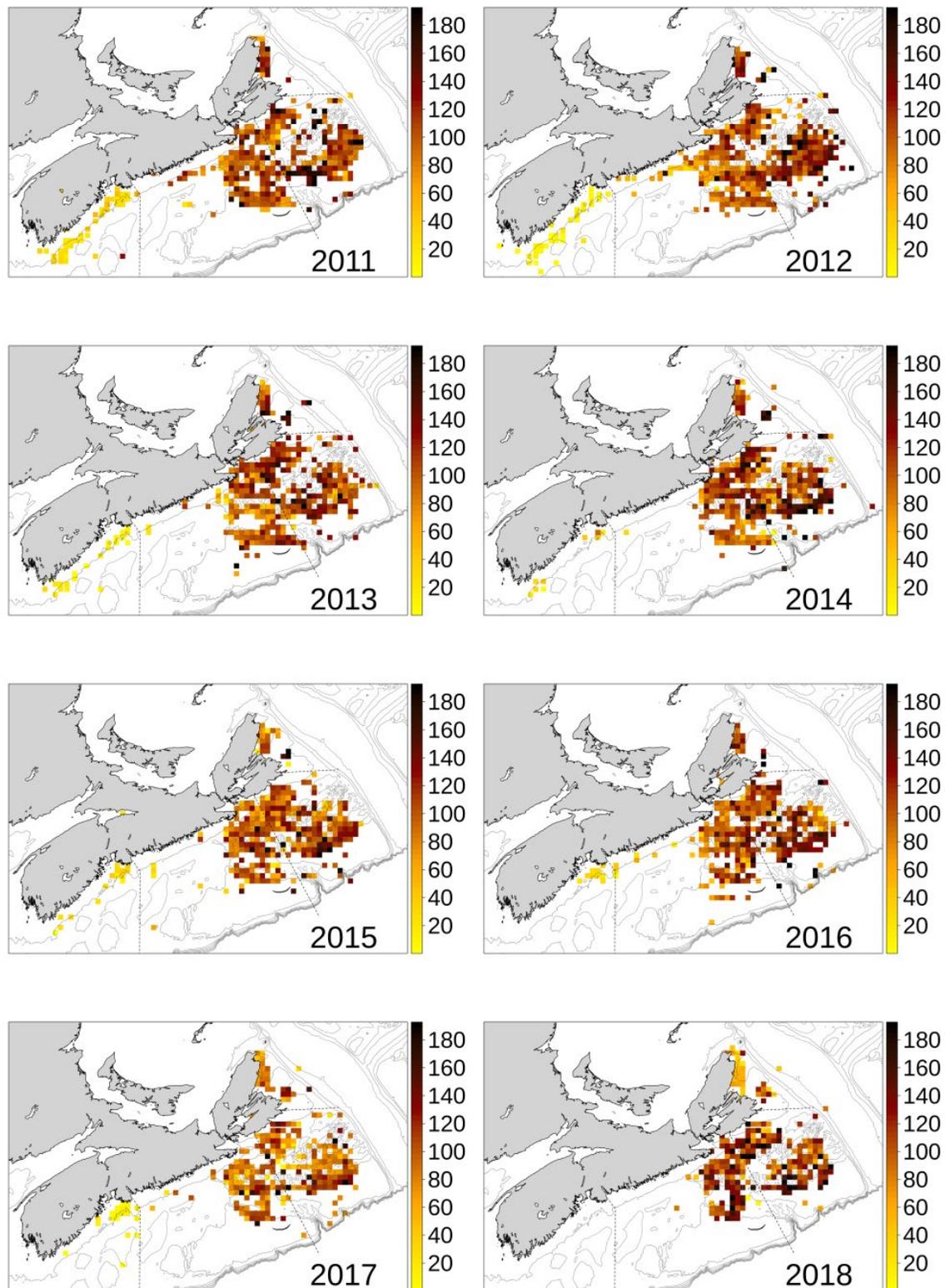


Figure 50. Taux de prises (kg/casier levé) de crabe des neiges par cellule de grille mesurant 10 x 10 km, d'après les données des journaux de bord des pêcheurs. Pour ce qui est de la ZPC 4X, l'année indiquée est celle du début de la saison.

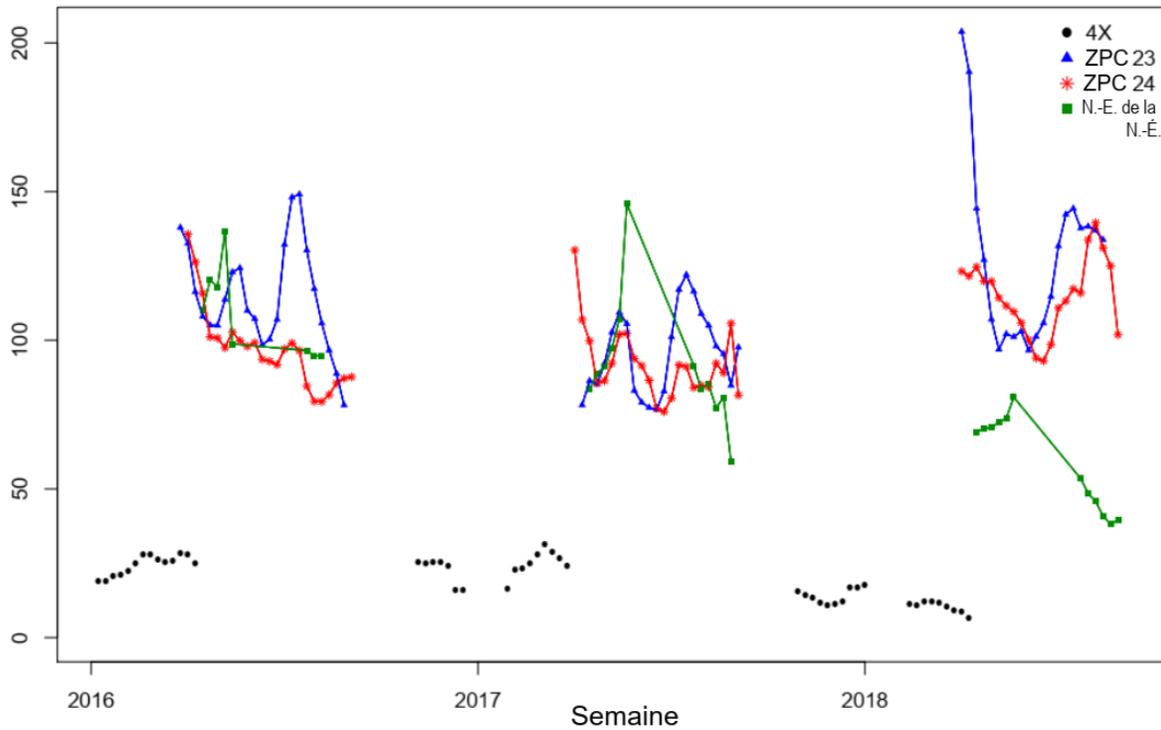


Figure 51. Taux de prises lissés (kg/casier levé) par semaine au cours des trois dernières saisons. La division de la saison (pêches printanière et estivale) dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse crée l'écart apparent dans les données de cette zone pour chaque année.

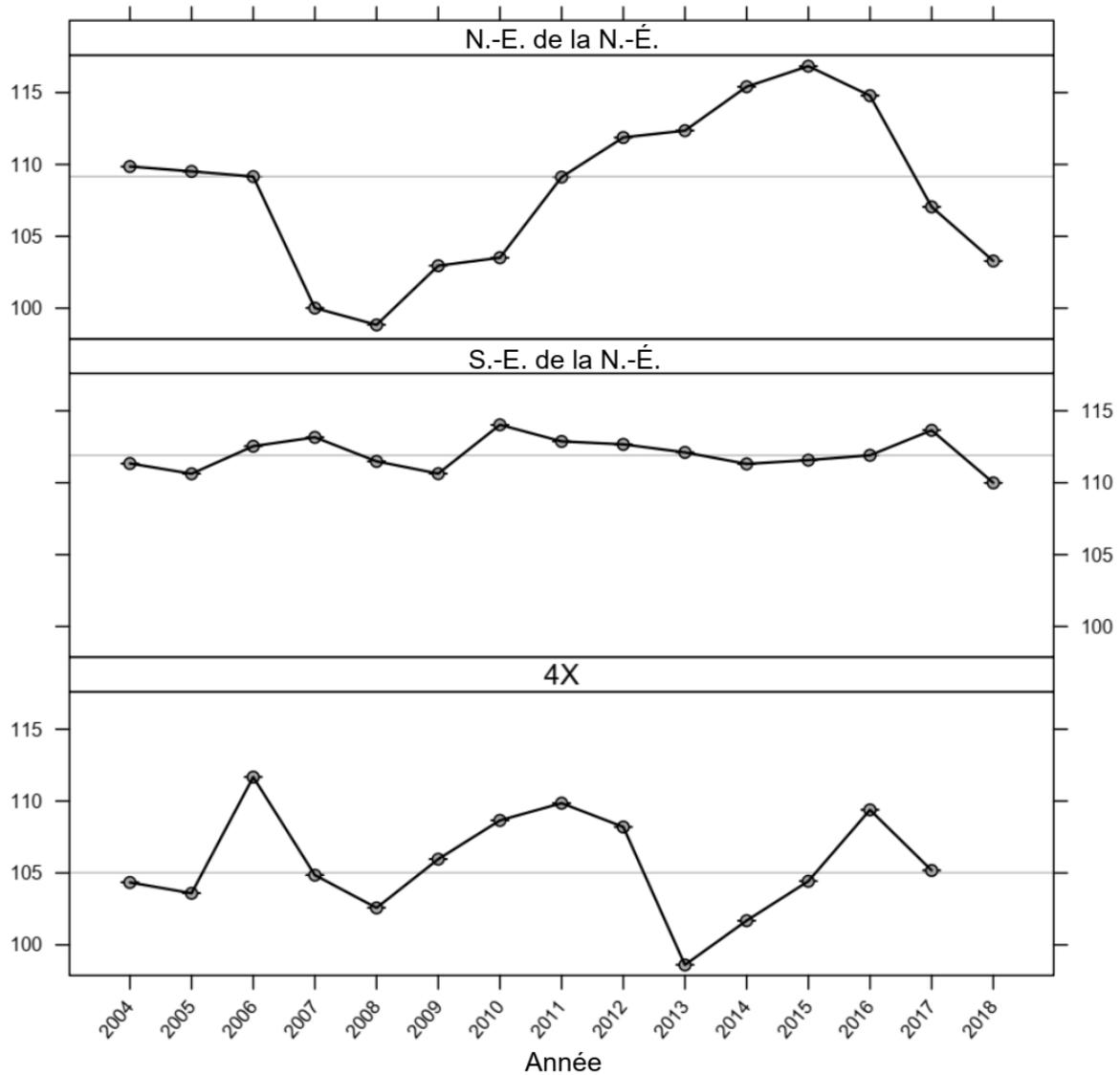


Figure 52. Série chronologique de la largeur de carapace moyenne (mm) des crabes de taille commerciale mesurée par les observateurs en mer. Pour ce qui est de la ZPC 4X, l'année indiquée est celle du début de la saison.

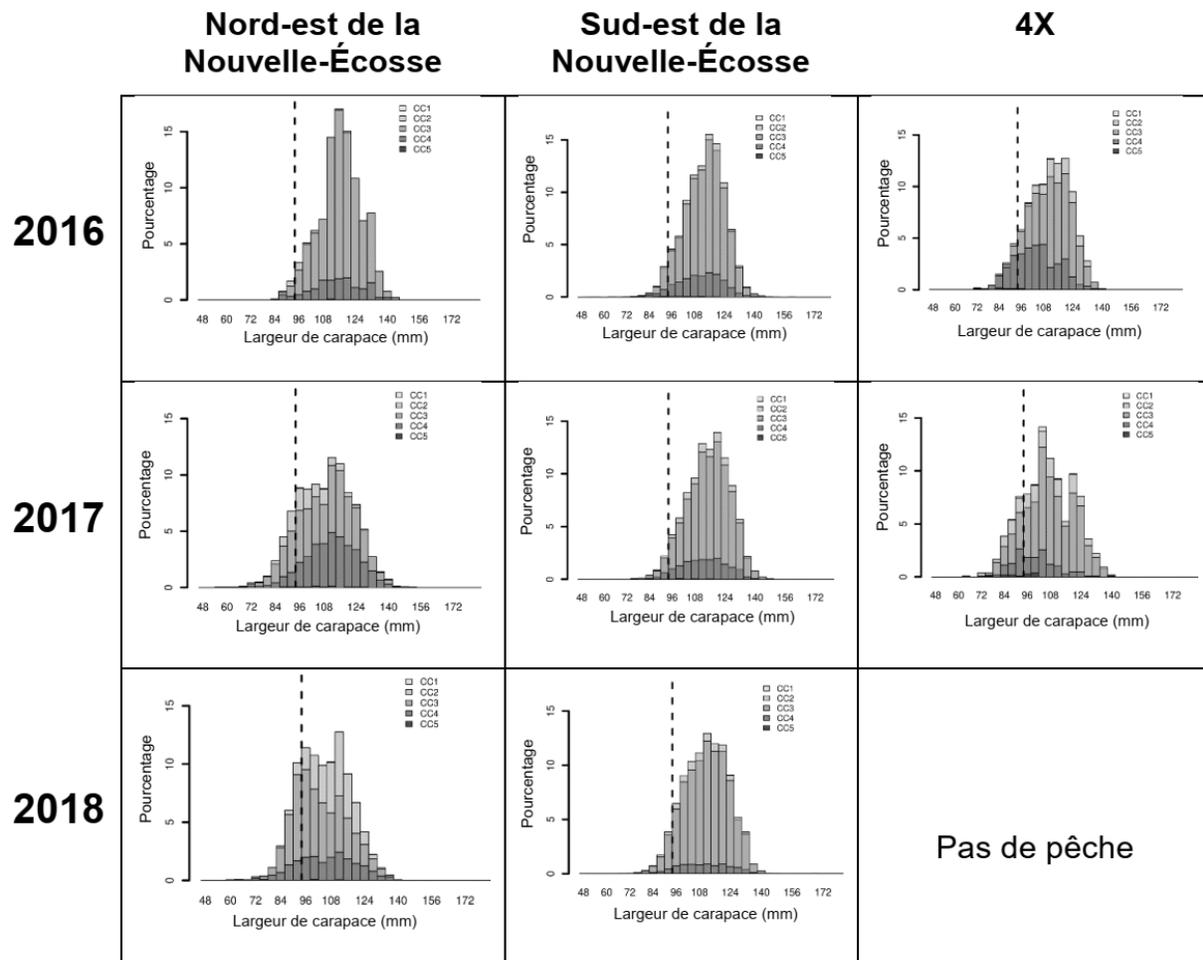


Figure 53. Répartition des fréquences de taille pour le crabe des neiges, ventilées par condition de carapace, dans les captures vérifiées par un observateur en mer. Pour ce qui est de la ZPC 4X, l'année indiquée est celle du début de la saison. Les lignes verticales indiquent une largeur de carapace de 95 mm, la taille réglementaire minimale.

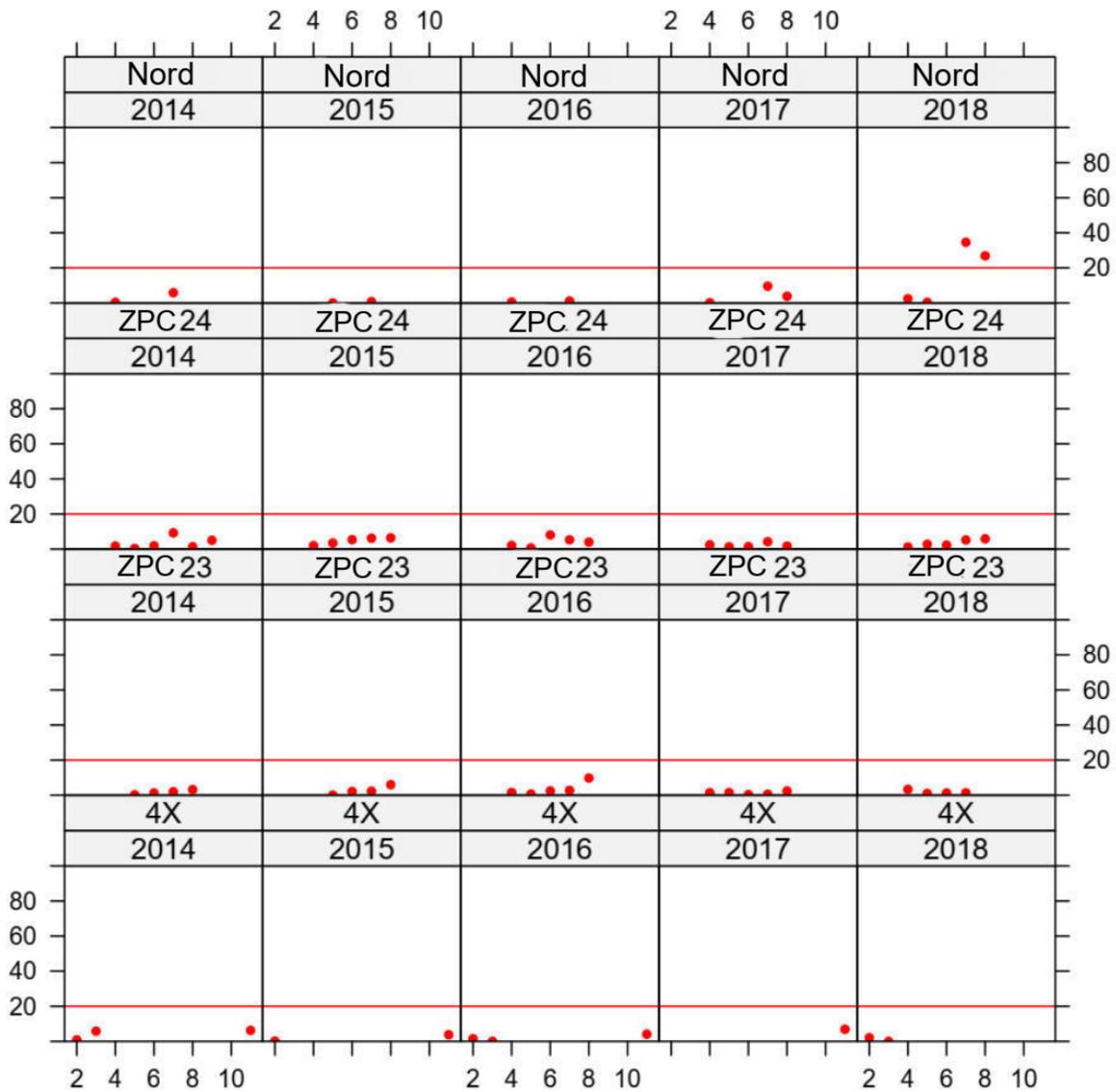


Figure 54. Pourcentage des crabes des neiges échantillonnés ayant une carapace molle (moins de 68 unités de duromètre), déterminé par des observateurs en mer à partir de casiers à crabe des neiges commerciaux, par mois. La ligne rouge indique un niveau de 20 % de crabes à carapace molle, un niveau traditionnellement considéré comme étant préoccupant.

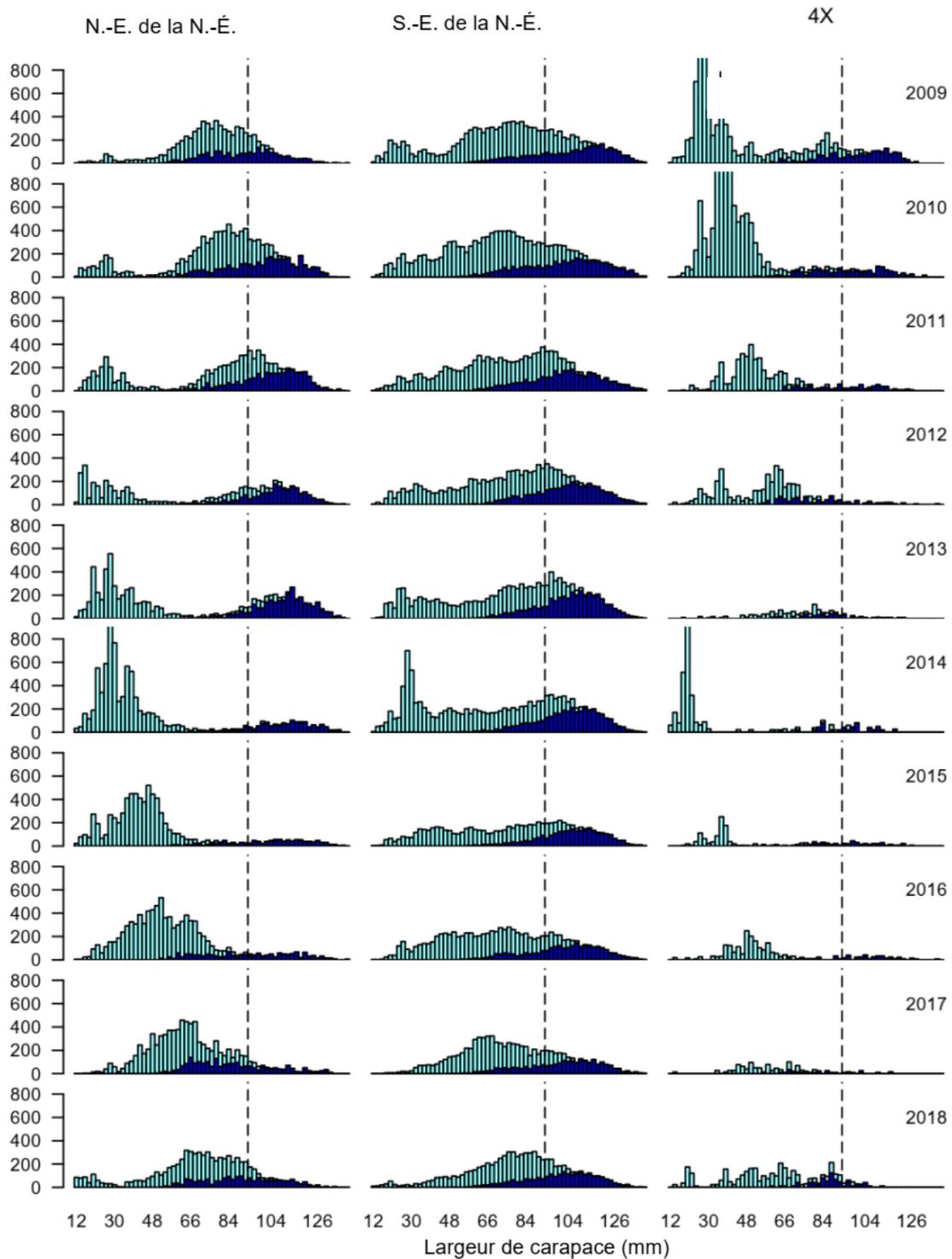


Figure 55. Histogrammes taille-fréquence de la largeur de carapace des crabes des neiges mâles (nombre/km<sup>2</sup>) selon les relevés du crabe des neiges. Les barres sombres représentent les crabes adultes et les barres claires, les crabes immatures. La ligne pointillée est la taille réglementaire minimale, soit une largeur de carapace de 95 mm.

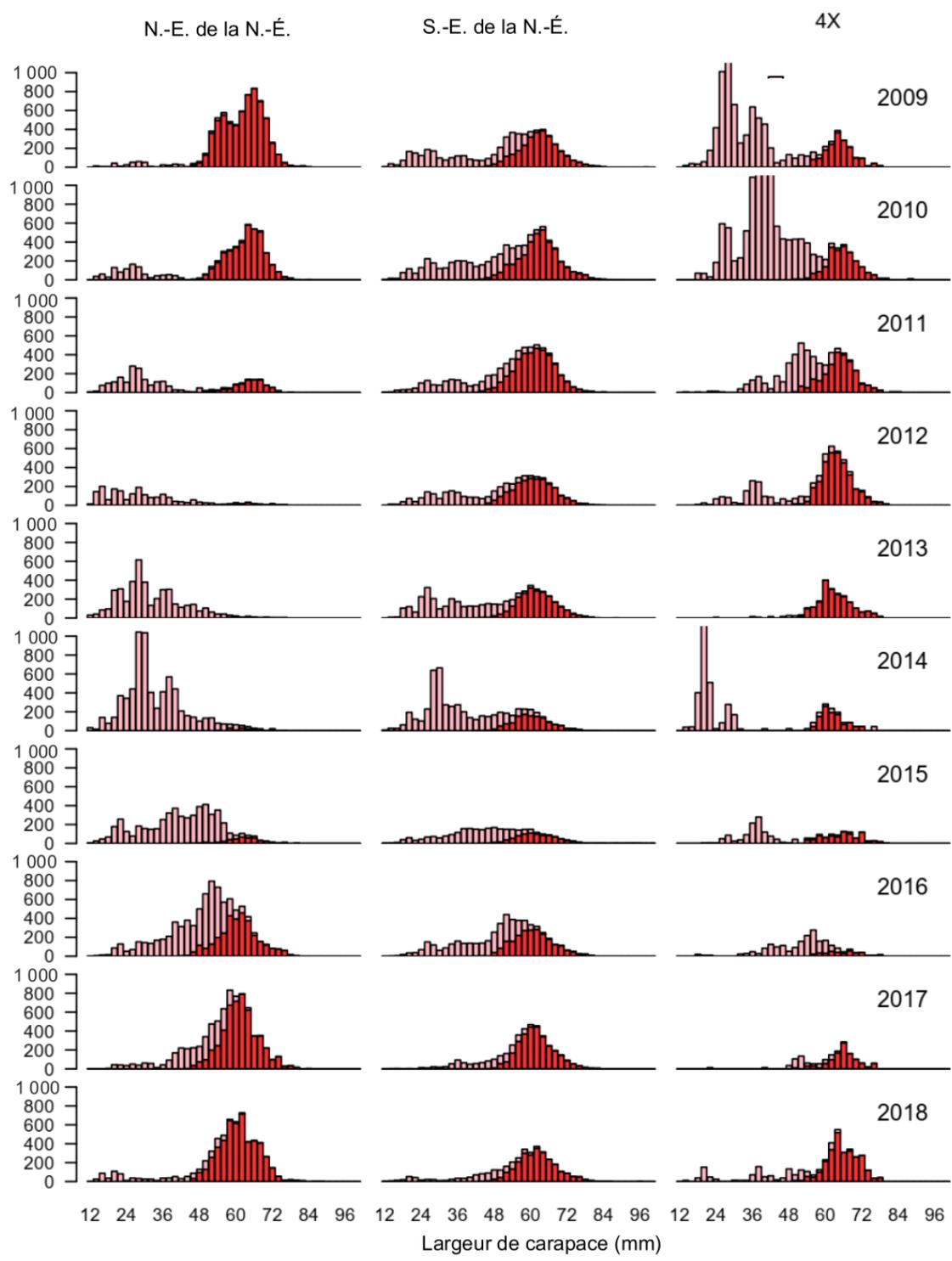


Figure 56. Histogrammes taille-fréquence de la largeur de carapace des crabes des neiges femelles (nombre/km<sup>2</sup>) selon les relevés du crabe des neiges. Les barres sombres représentent les crabes adultes et les barres claires, les crabes immatures.

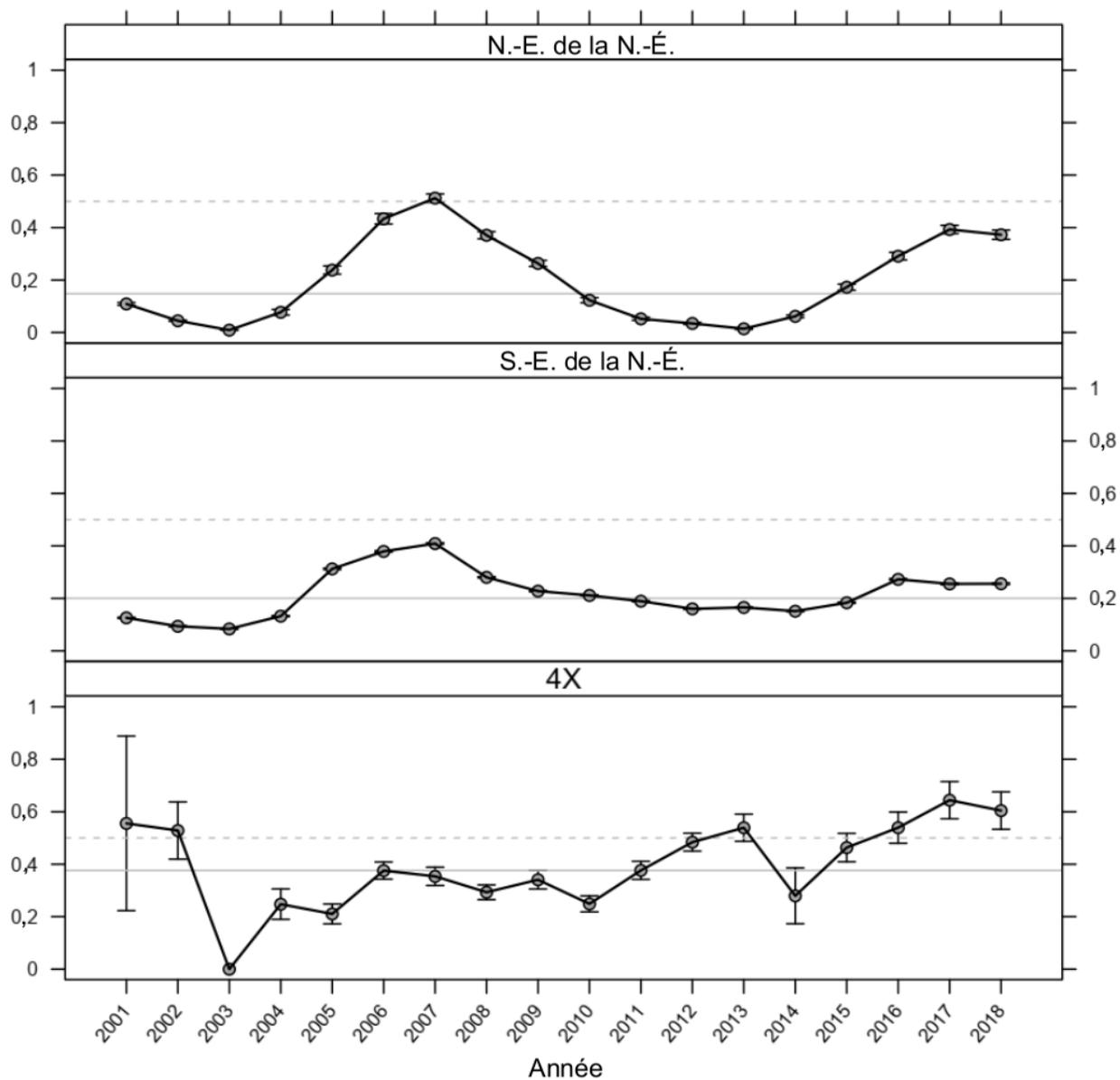


Figure 57. Proportion annuelle de crabes des neiges femelles adultes observée dans les relevés. Depuis 2001, la présence des mâles a été prédominante presque partout sur le plateau néo-écossais. Une barre d'erreur standard est présentée. La ligne pointillée représente un ratio femelle/mâle de 1:1 (ratio de 0,5).

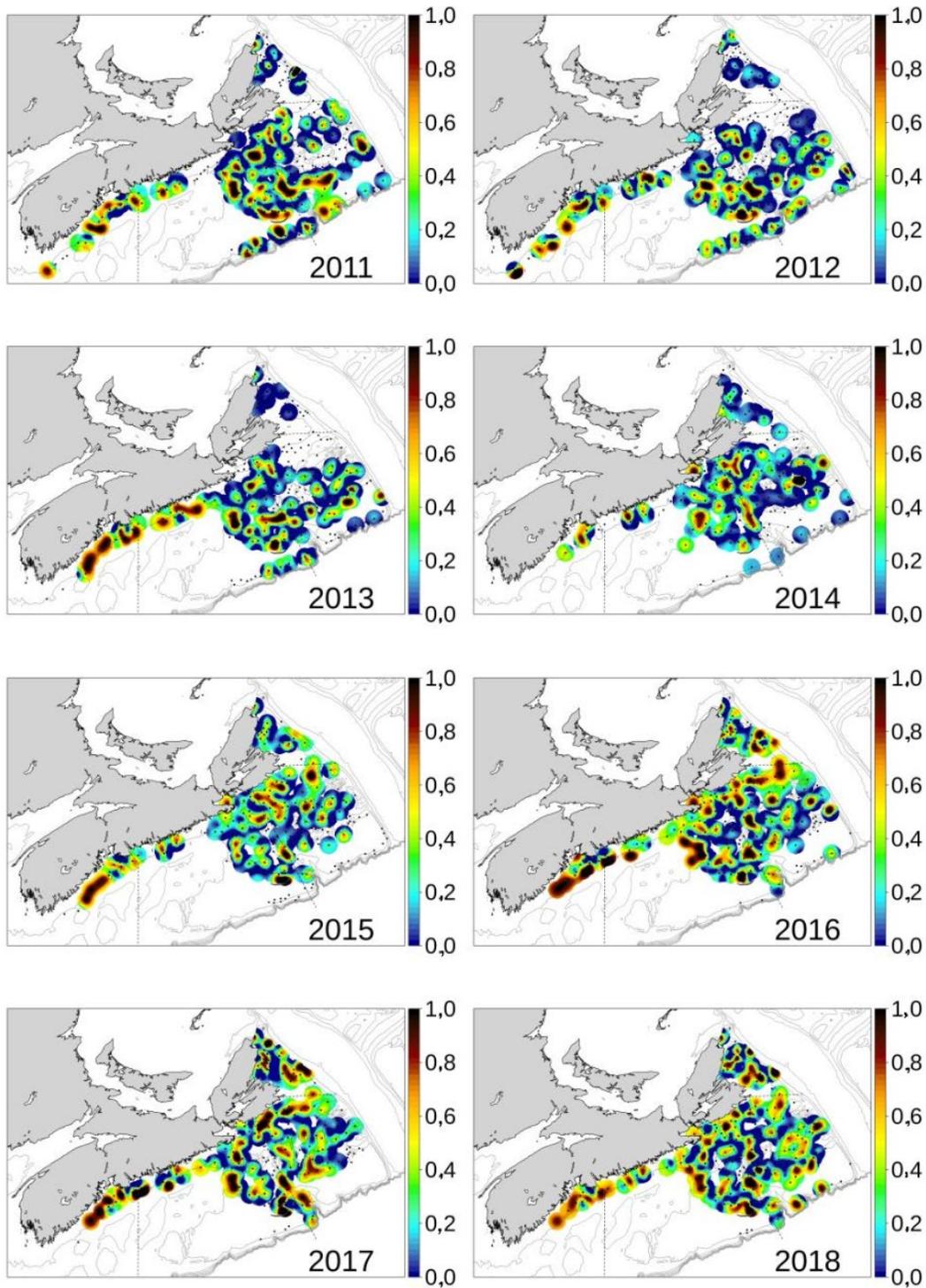


Figure 58. Proportion de femelles dans la fraction mature du segment morphométriquement mature total des crabes des neiges du plateau néo-écossais. Représentations spatiales générées à l'aide d'interpolations de données du relevé annuel du crabe des neiges par fonction spline des plans affines.

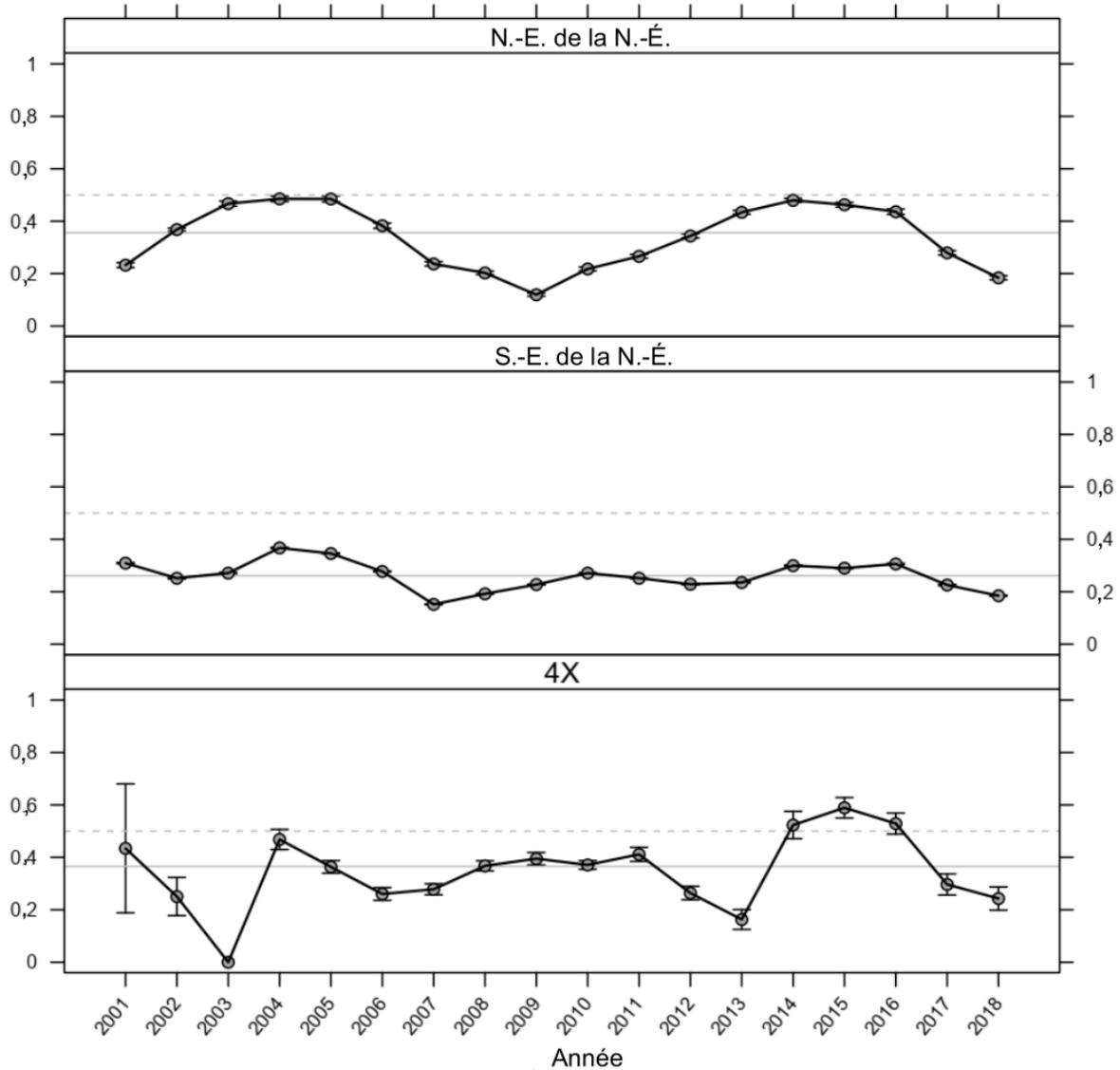


Figure 59. Sex-ratios annuels (proportion de femelles) pour les crabes des neiges immatures sur le plateau néo-écossais. La ligne pointillée représente un ratio femelle/mâle de 1:1 (ratio de 0,5). La ligne continue indique la moyenne à long terme dans chaque zone.

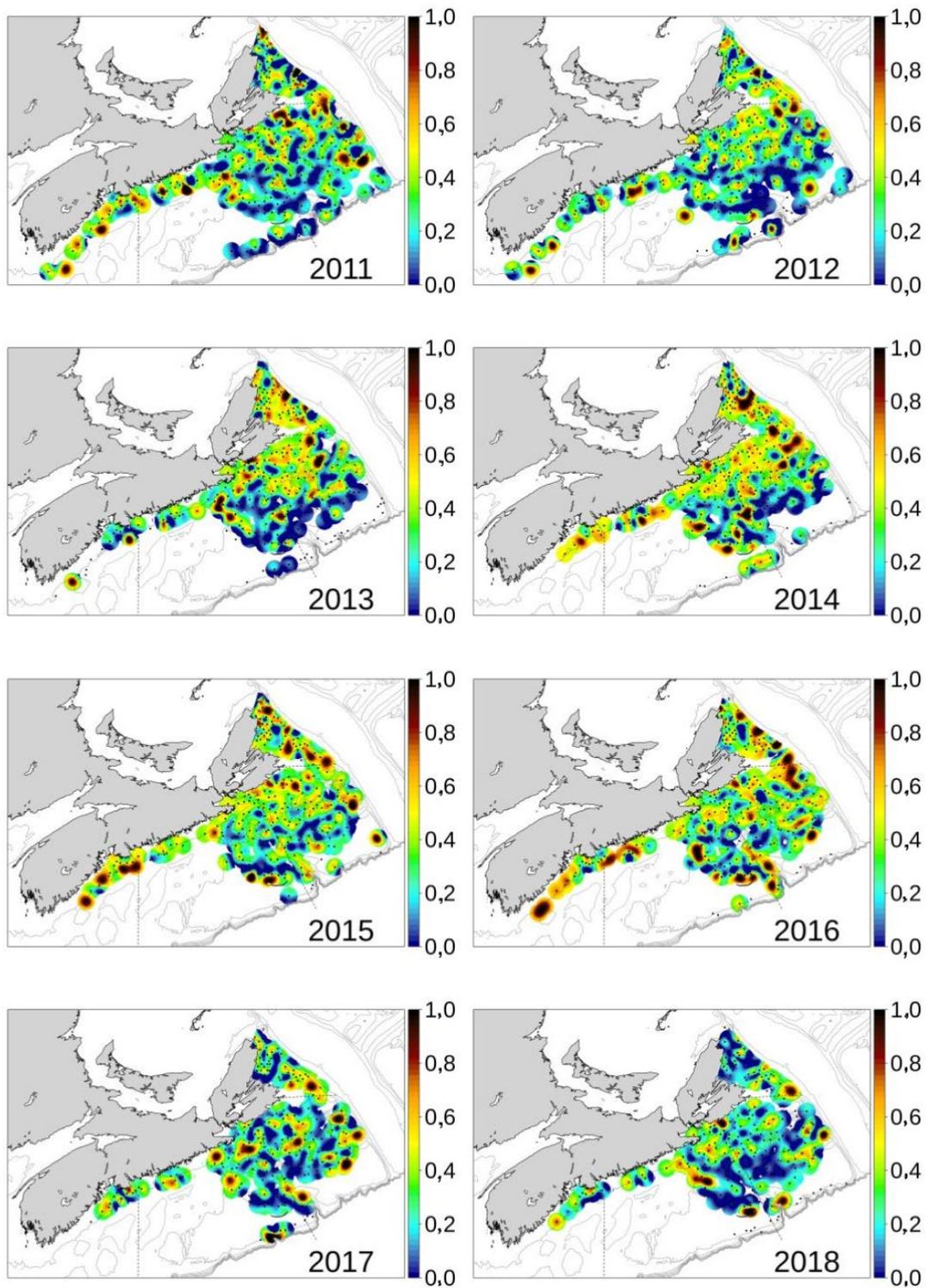


Figure 60. Sex-ratios pour les crabes des neiges du plateau néo-écossais morphométriquement immatures (proportion de femelles dans la fraction mature des nombres totaux). Représentations spatiales générées à l'aide d'interpolations de données du relevé annuel du crabe des neiges par fonction spline des plans affinis.

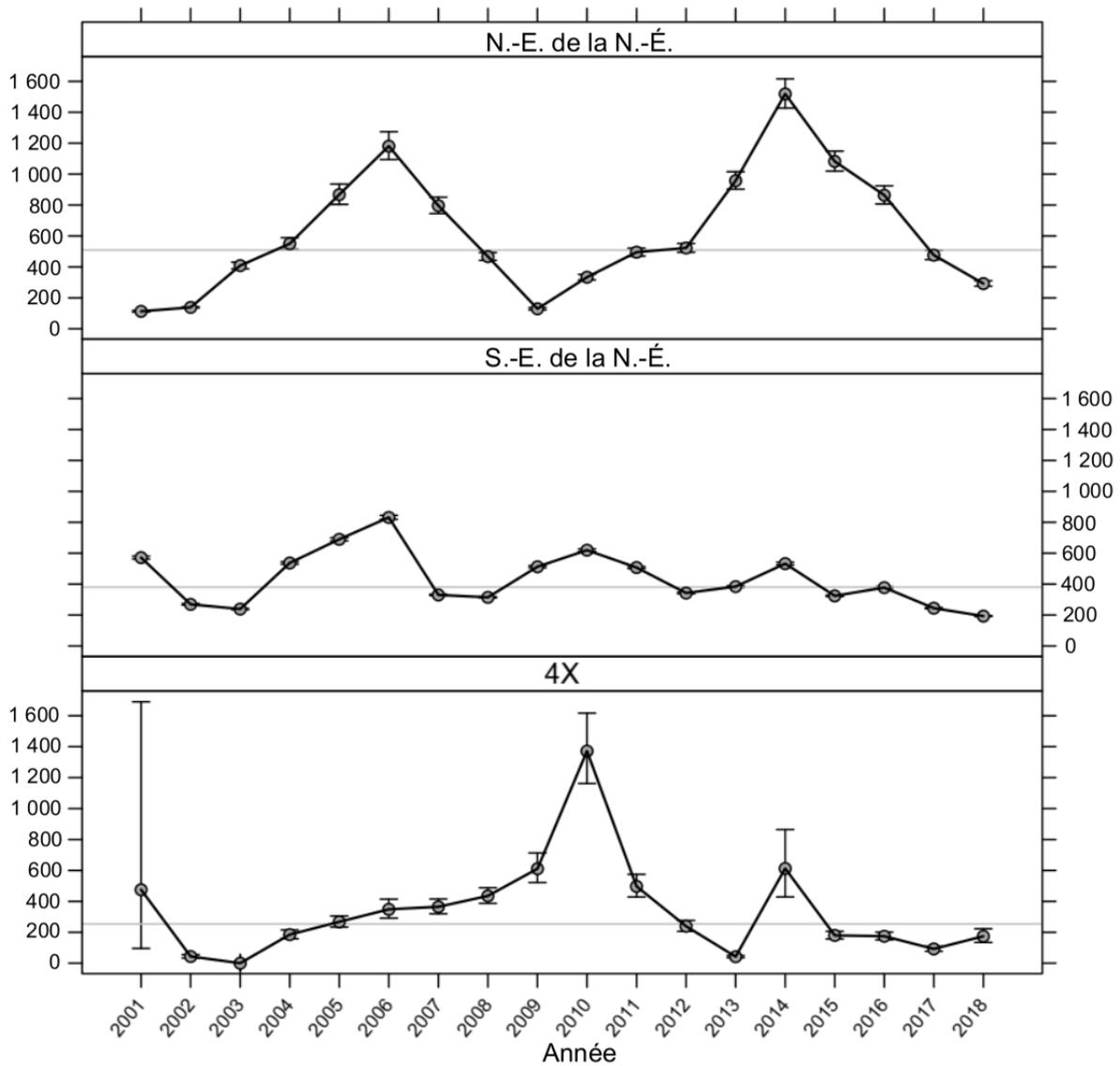


Figure 61. Moyenne géométrique de la densité numérique des crabes des neiges femelles immatures (nombre/km<sup>2</sup>) sur le plateau néo-écossais.

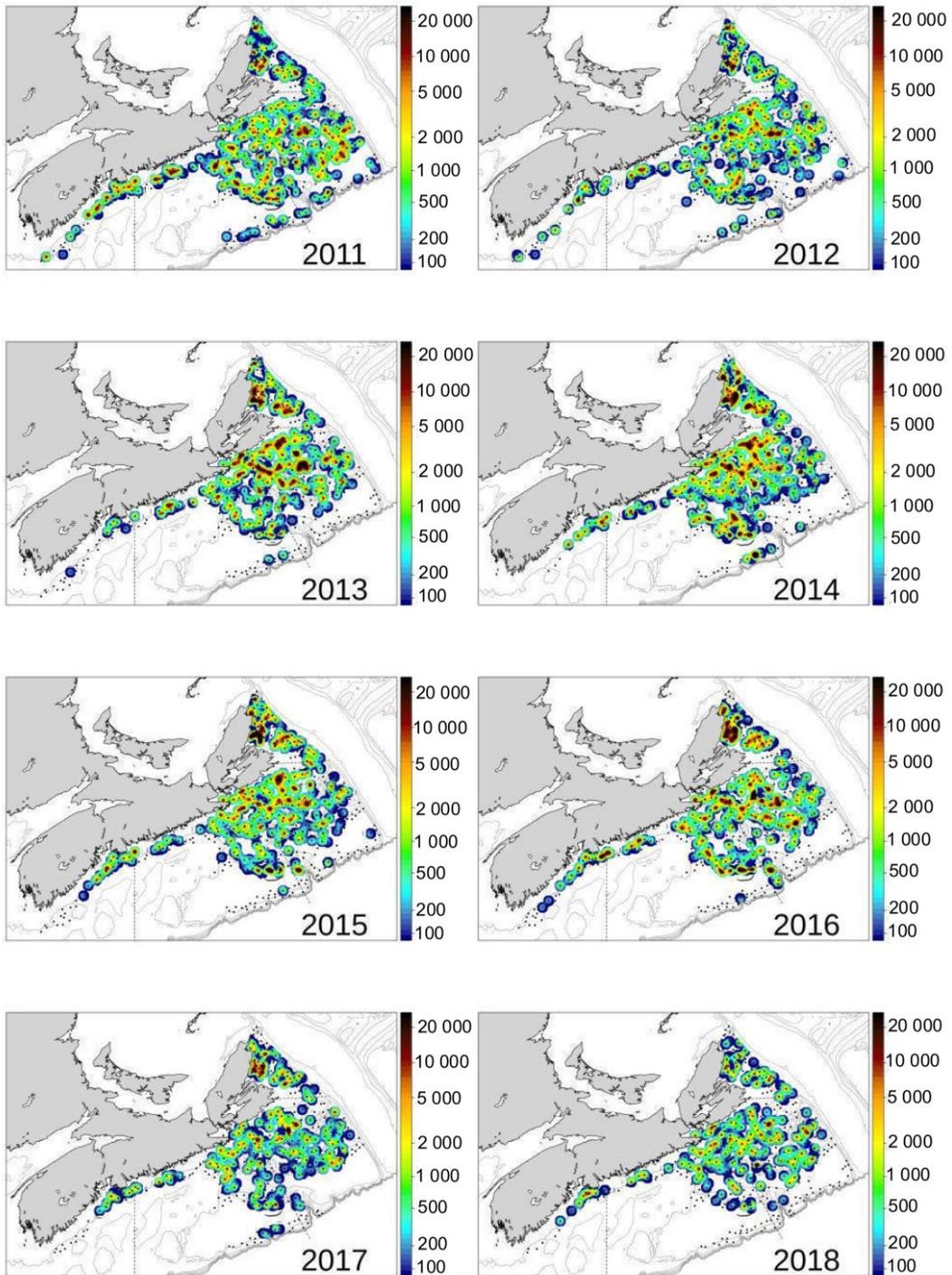


Figure 62. Densités numériques (nombre/km<sup>2</sup>) des crabes des neiges femelles immatures sur le plateau néo-écossais. Représentations spatiales générées à l'aide d'interpolations de données du relevé annuel du crabe des neiges par fonction spline des plans affinis.

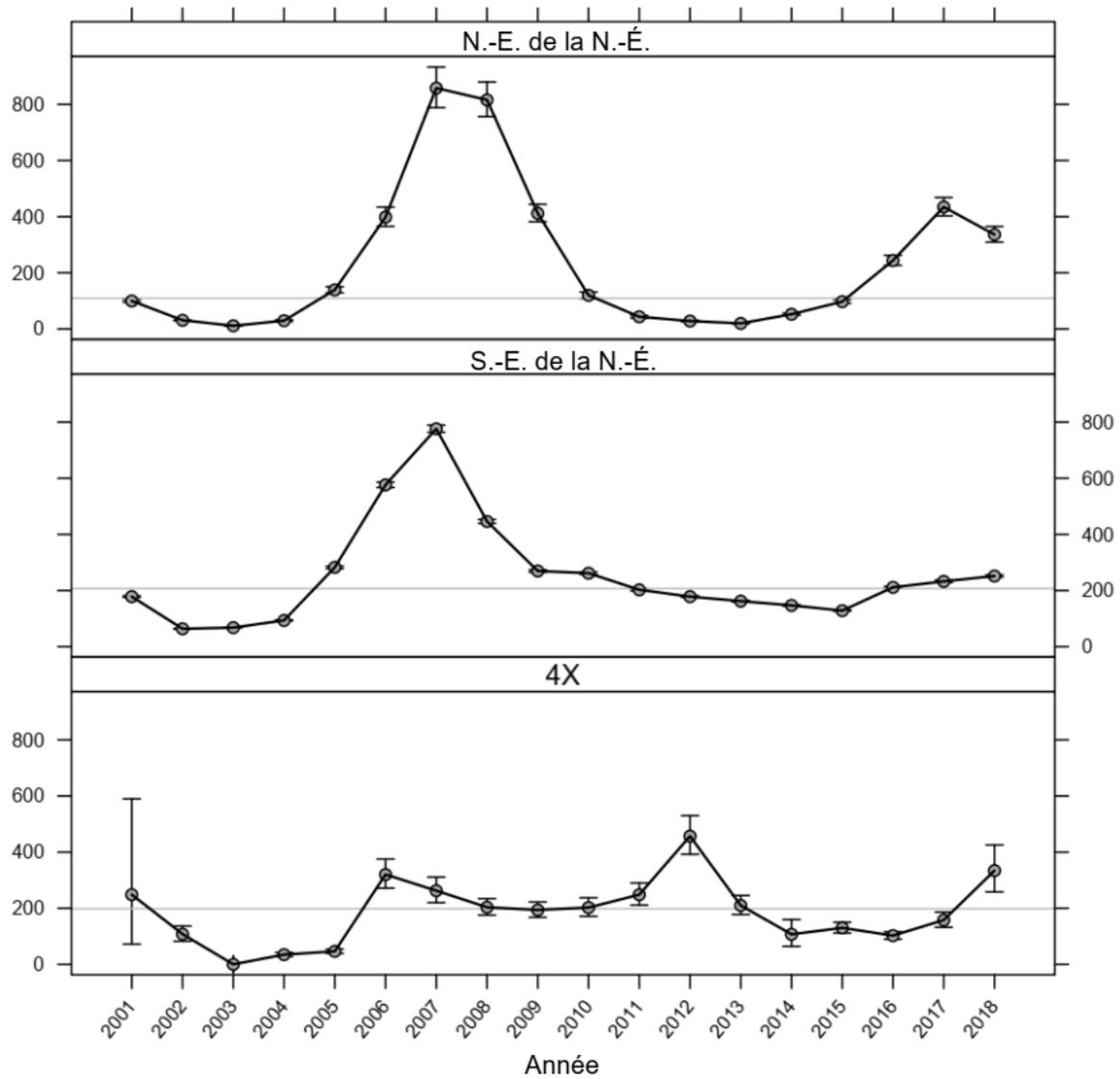


Figure 63. Moyenne géométrique de la densité numérique des crabes des neiges femelles adultes (nombre/km<sup>2</sup>) sur le plateau néo-écossais.

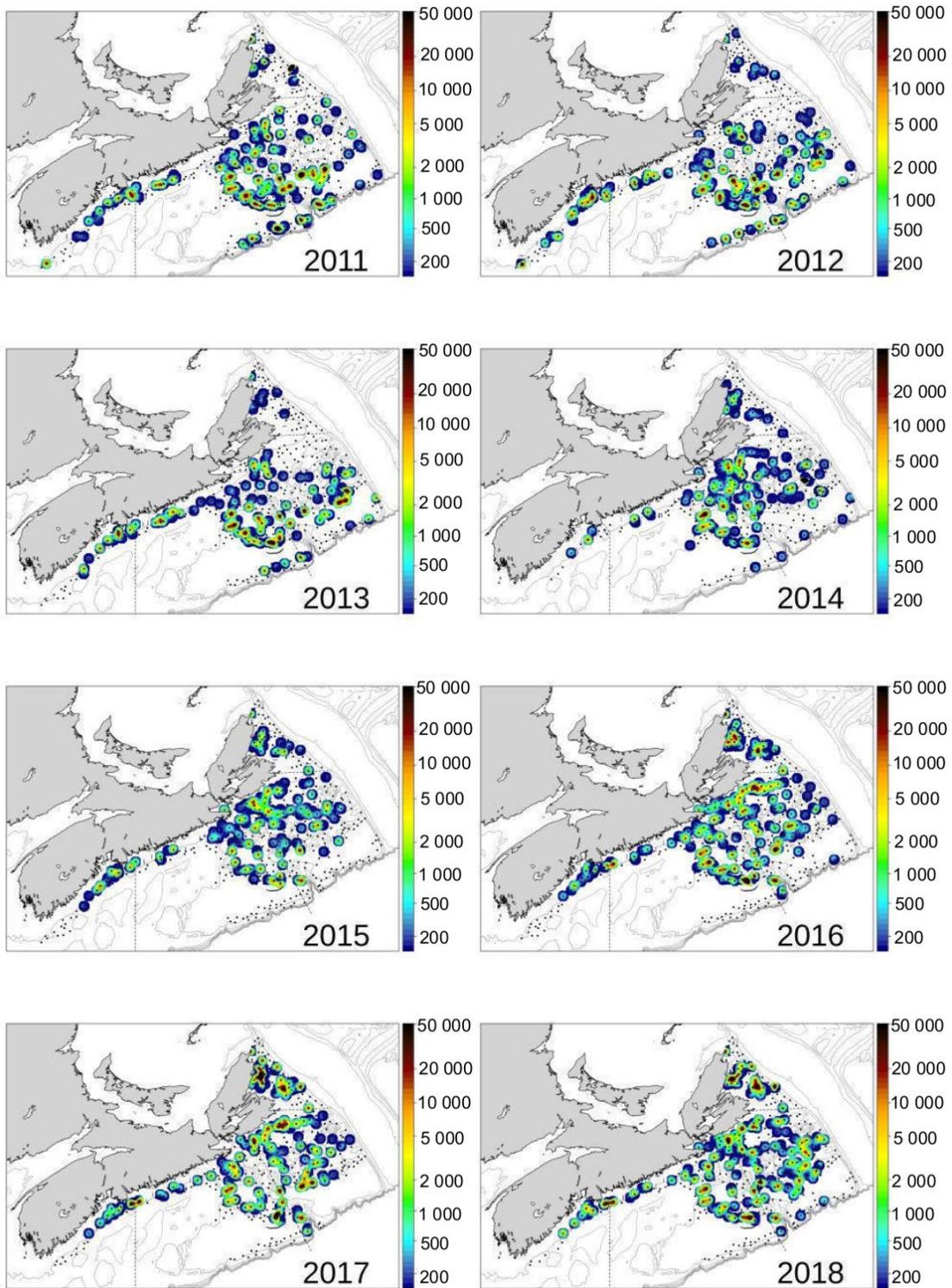


Figure 64. Densités numériques (nombre/km<sup>2</sup>) des crabes des neiges femelles adultes sur le plateau néo-écossais. Représentations spatiales générées à l'aide d'interpolations de données du relevé annuel du crabe des neiges par fonction spline des plans affinis.

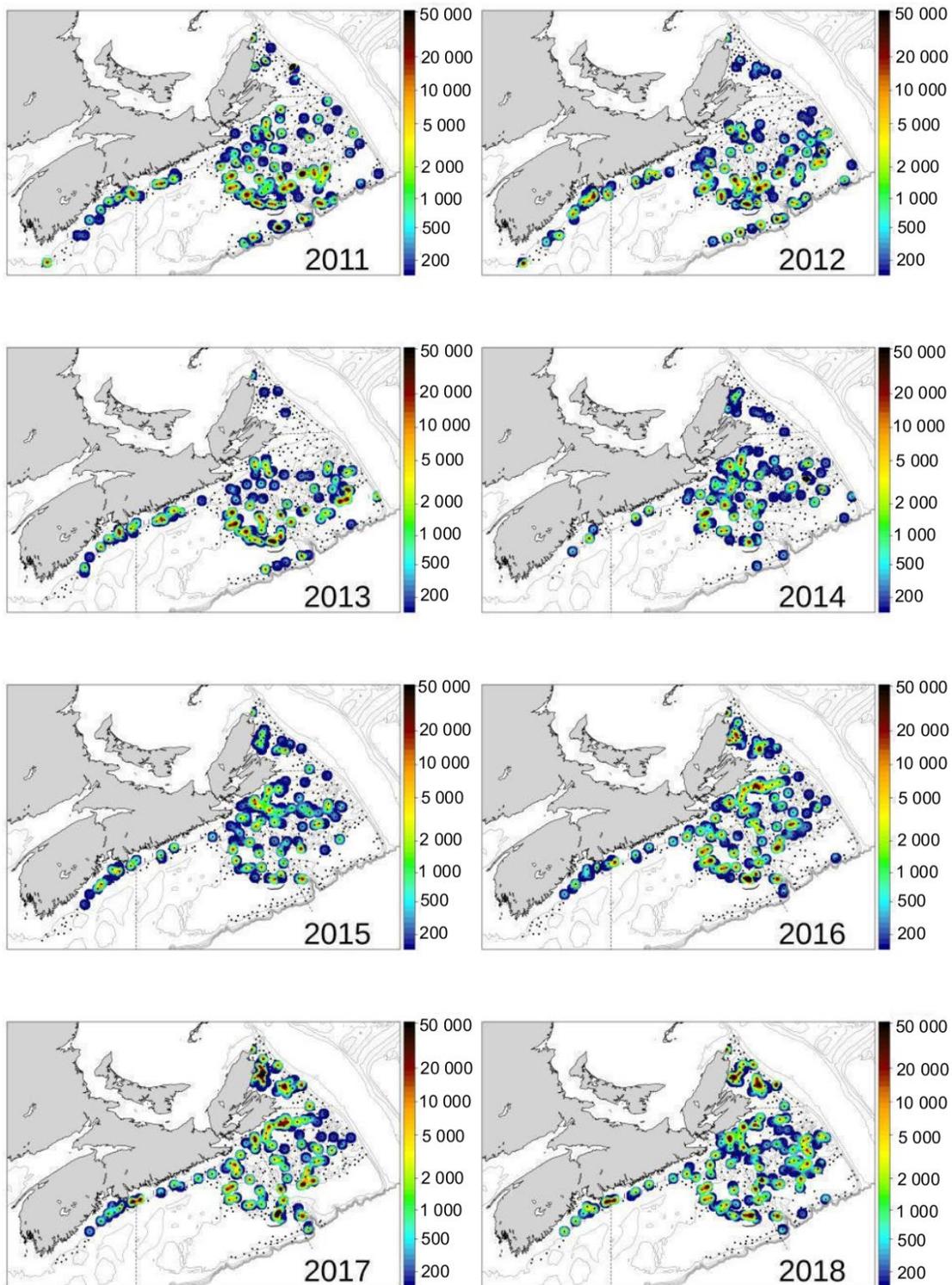


Figure 65. Densités numériques (nombre/km<sup>2</sup>) des crabes des neiges femelles œuvées matures sur le plateau néo-écossais avec représentation spatiale générée à l'aide d'interpolations de données du relevé annuel du crabe des neiges par fonction spline des plans affinis.

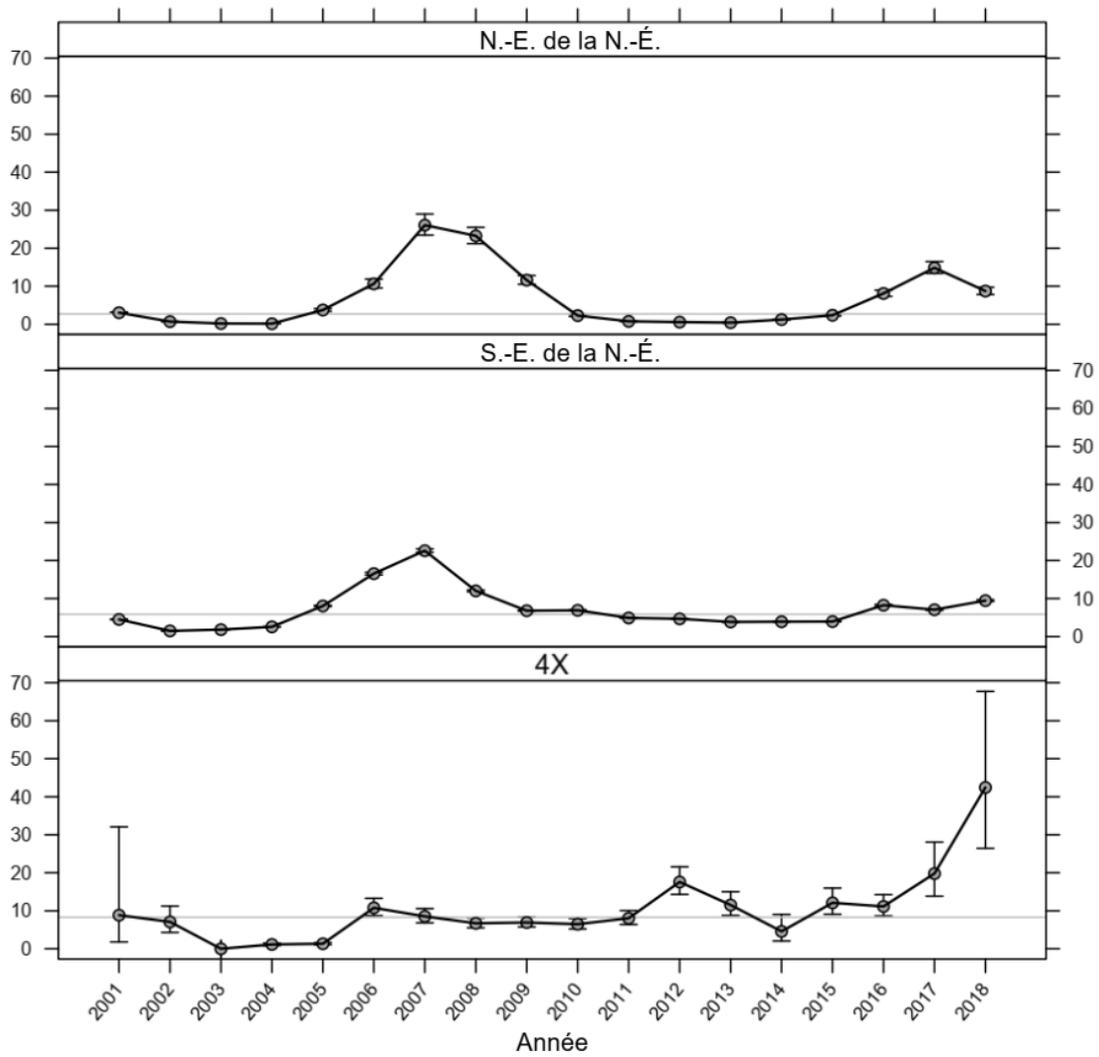


Figure 66. Indice géométrique moyen de la production d'œufs sur le plateau néo-écossais, déterminé à partir du nombre de crabes des neiges femelles œuvées et des estimations de la fécondité selon le poids.

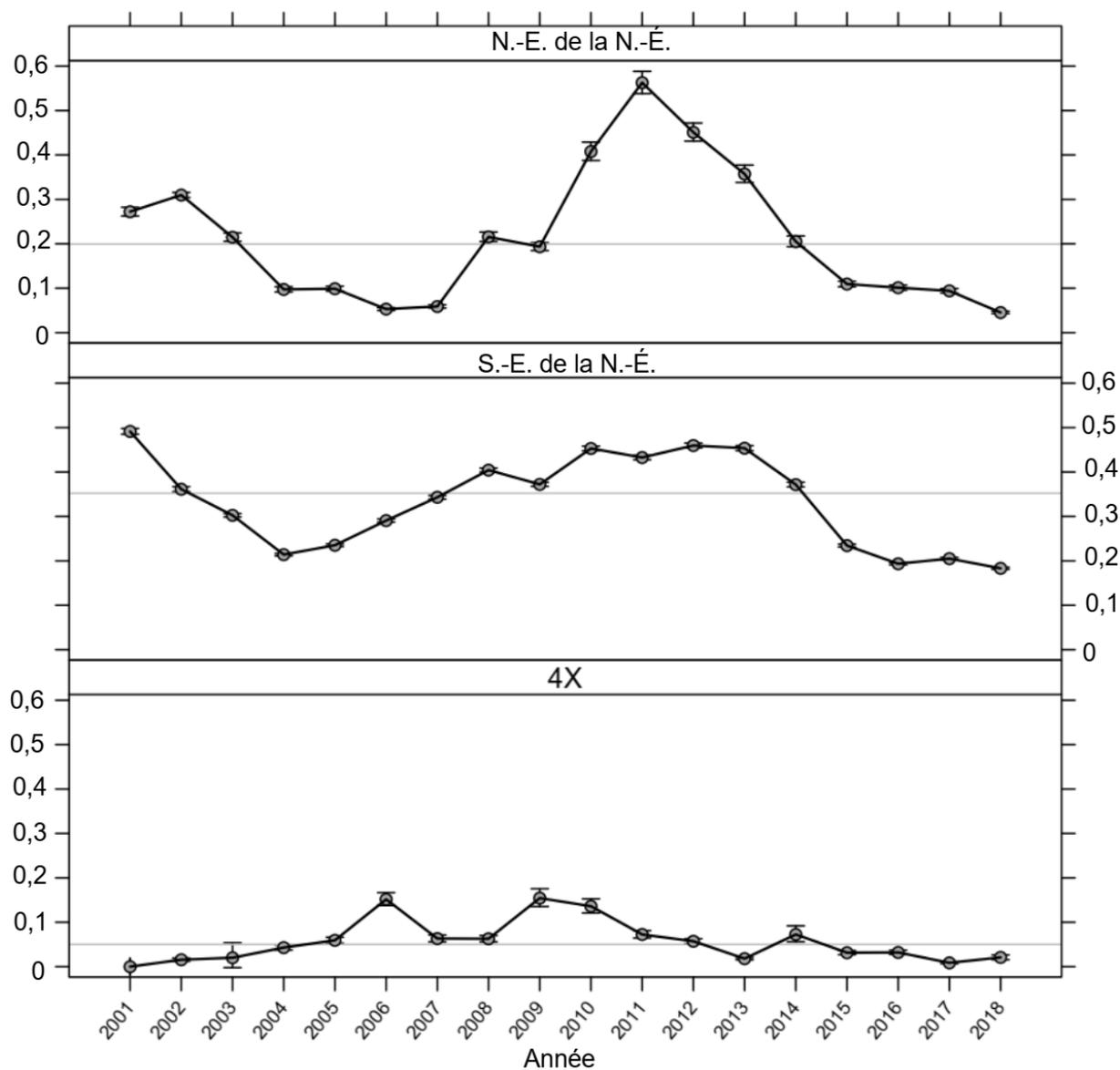


Figure 67. Tendances de la moyenne géométrique de la biomasse exploitable ( $t/km^2$ ), d'après les relevés annuels du crabe des neiges. Les barres d'erreur représentent un IC à 95 % de la moyenne géométrique.

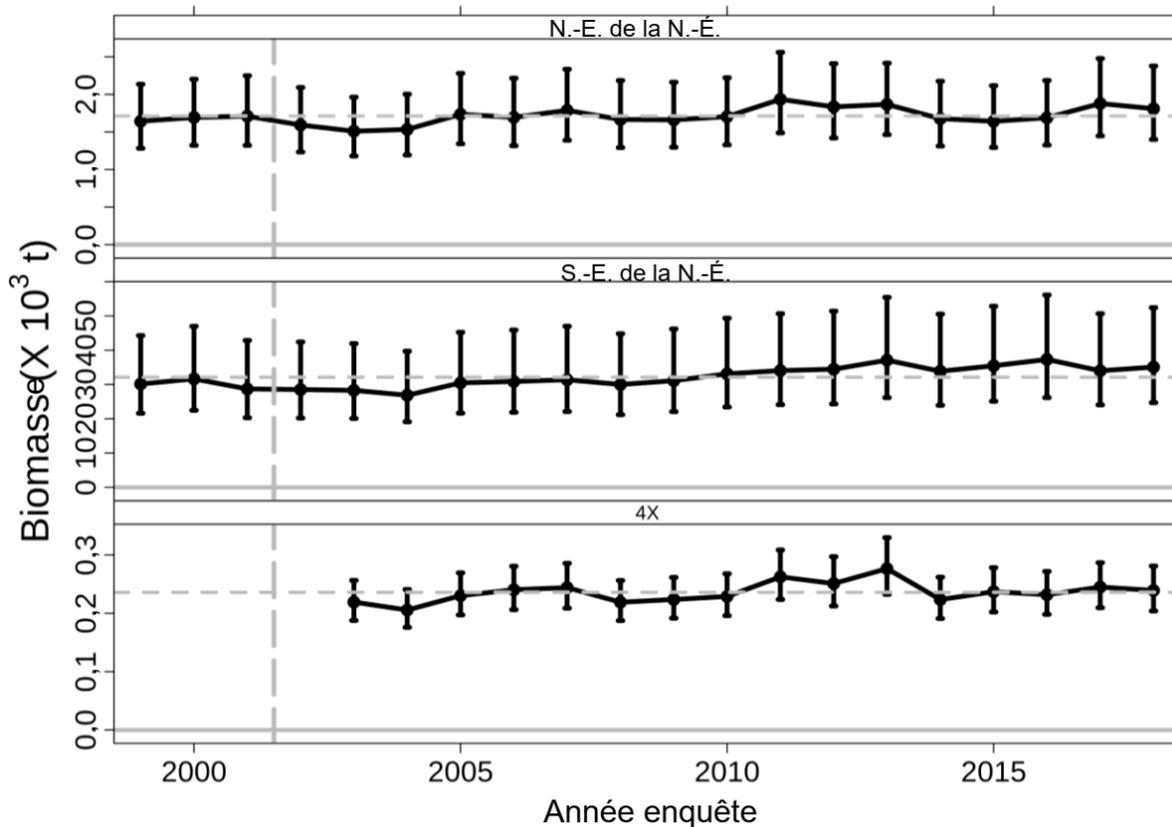


Figure 68. Les tendances dans la région ont permis d'accroître la biomasse géométrique moyenne exploitable ( $t/km^2$ ) selon les relevés annuels du crabe des neiges. Les barres d'erreur représentent un IC à 95 % de la moyenne géométrique. Les estimations pour les zones sont obtenues à partir de stmv. La ligne pointillée verticale représente le passage d'un relevé printanier à un relevé d'automne. La ligne pointillée horizontale représente la moyenne.

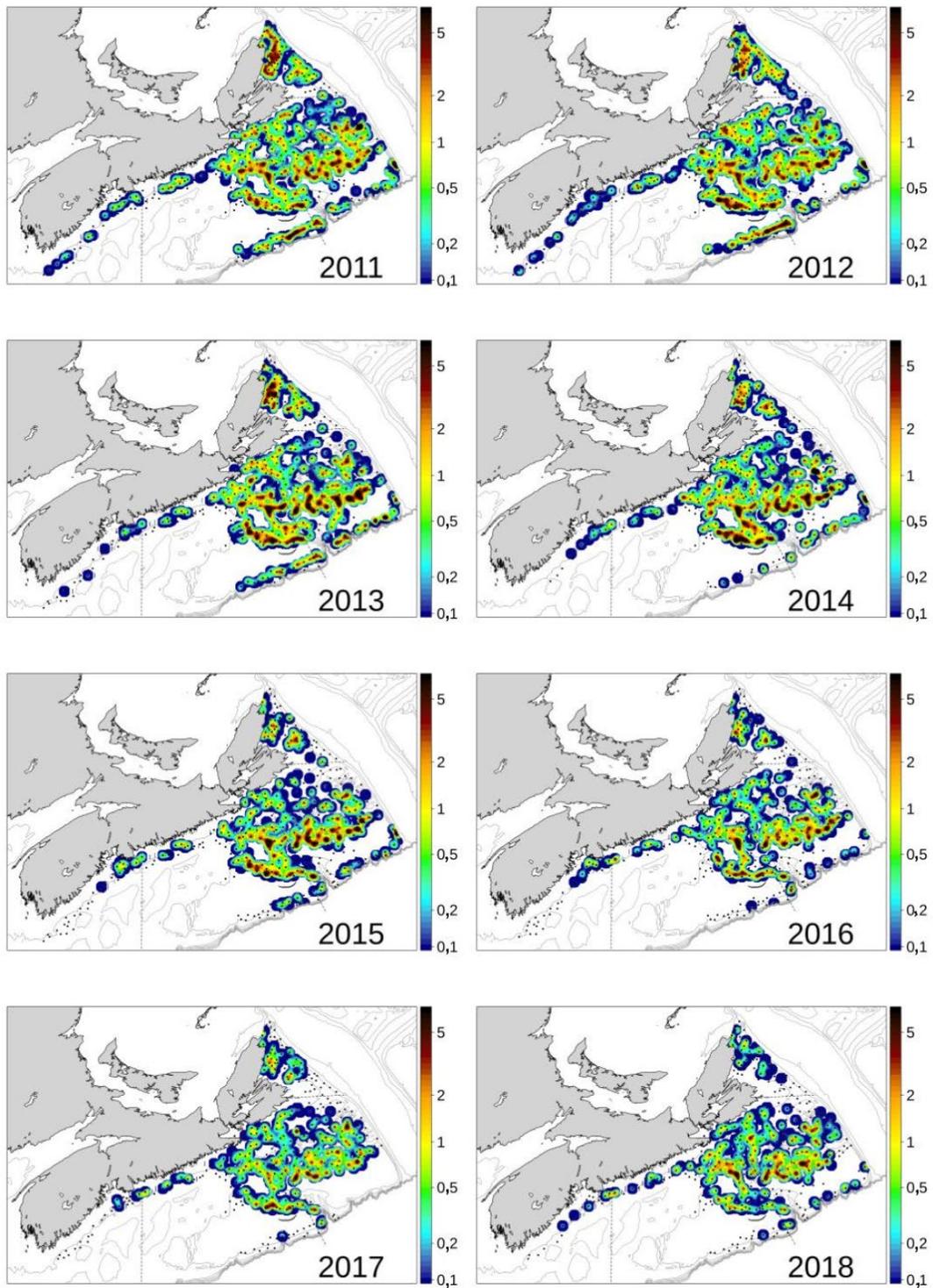


Figure 69. Densités de biomasse exploitable ( $t/km^2$ ) de crabe des neiges sur le plateau néo-écossais avec représentation spatiale générée à l'aide d'interpolations de données du relevé annuel du crabe des neiges par fonction spline des plans affinis.

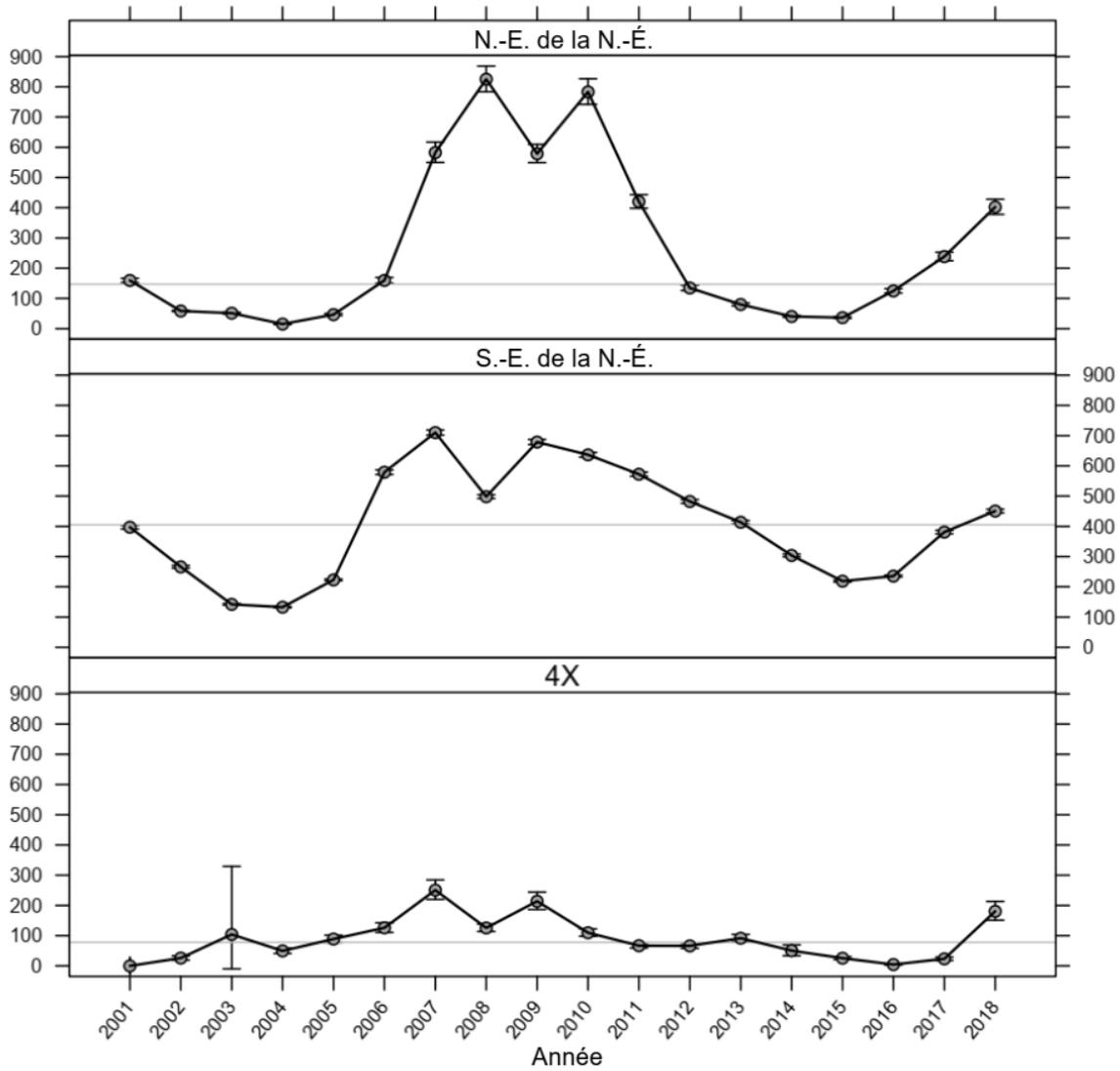


Figure 70. Tendances de l'abondance moyenne géométrique ( $t/km^2$ ) du crabe des neiges mâle (LC de 75 à 95 mm), d'après les relevés annuels du crabe des neiges. Les barres d'erreur représentent un IC à 95 % de la moyenne géométrique.

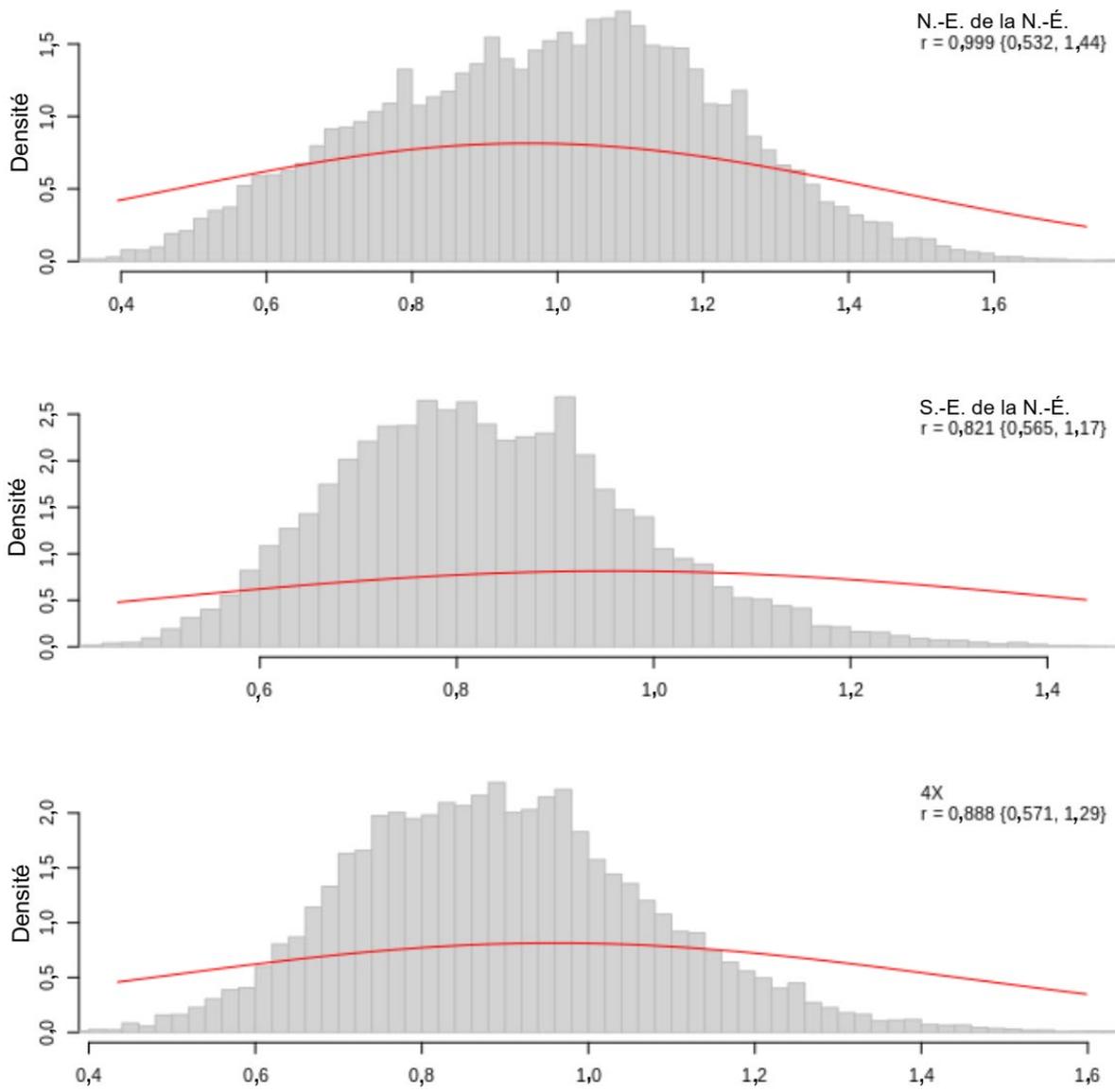


Figure 71. Distribution antérieure (rouge) et postérieure (barres) pour le paramètre de croissance de la population,  $r$ , d'après le modèle dynamique de la biomasse de la production de crabe des neiges dans les zones de pêche du crabe sur le plateau néo-écossais. Une estimation de la médiane postérieure et un intervalle de crédibilité à 95 % sont donnés dans la légende de chaque panneau.

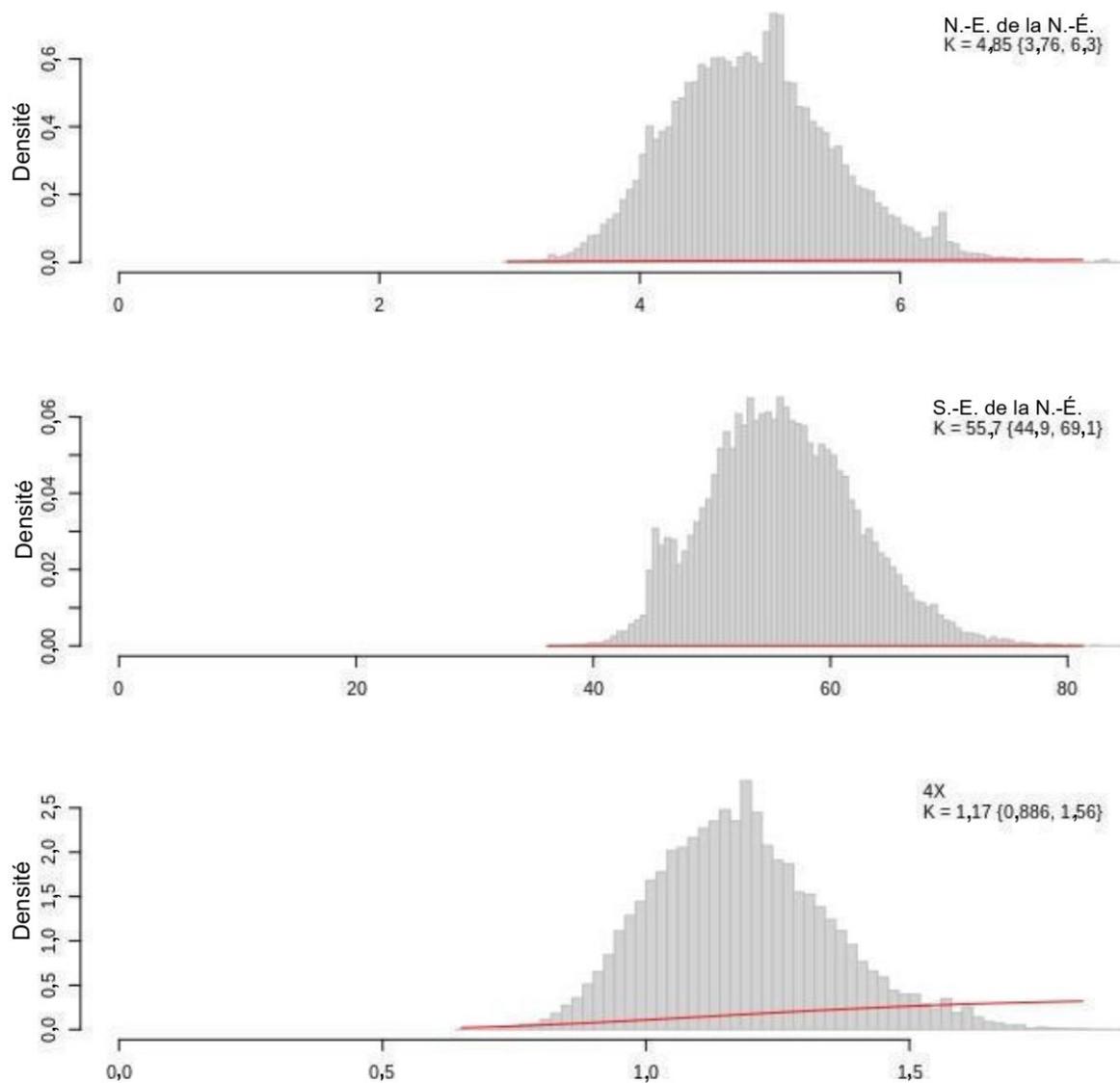


Figure 72. Distribution antérieure (rouge) et postérieure (barres) pour le paramètre de la capacité de charge,  $K$ , d'après le modèle dynamique de la biomasse de la production de crabe des neiges dans les zones de pêche du crabe sur le plateau néo-écossais. Une estimation de la médiane postérieure et un intervalle de crédibilité à 95 % sont donnés dans la légende de chaque panneau.

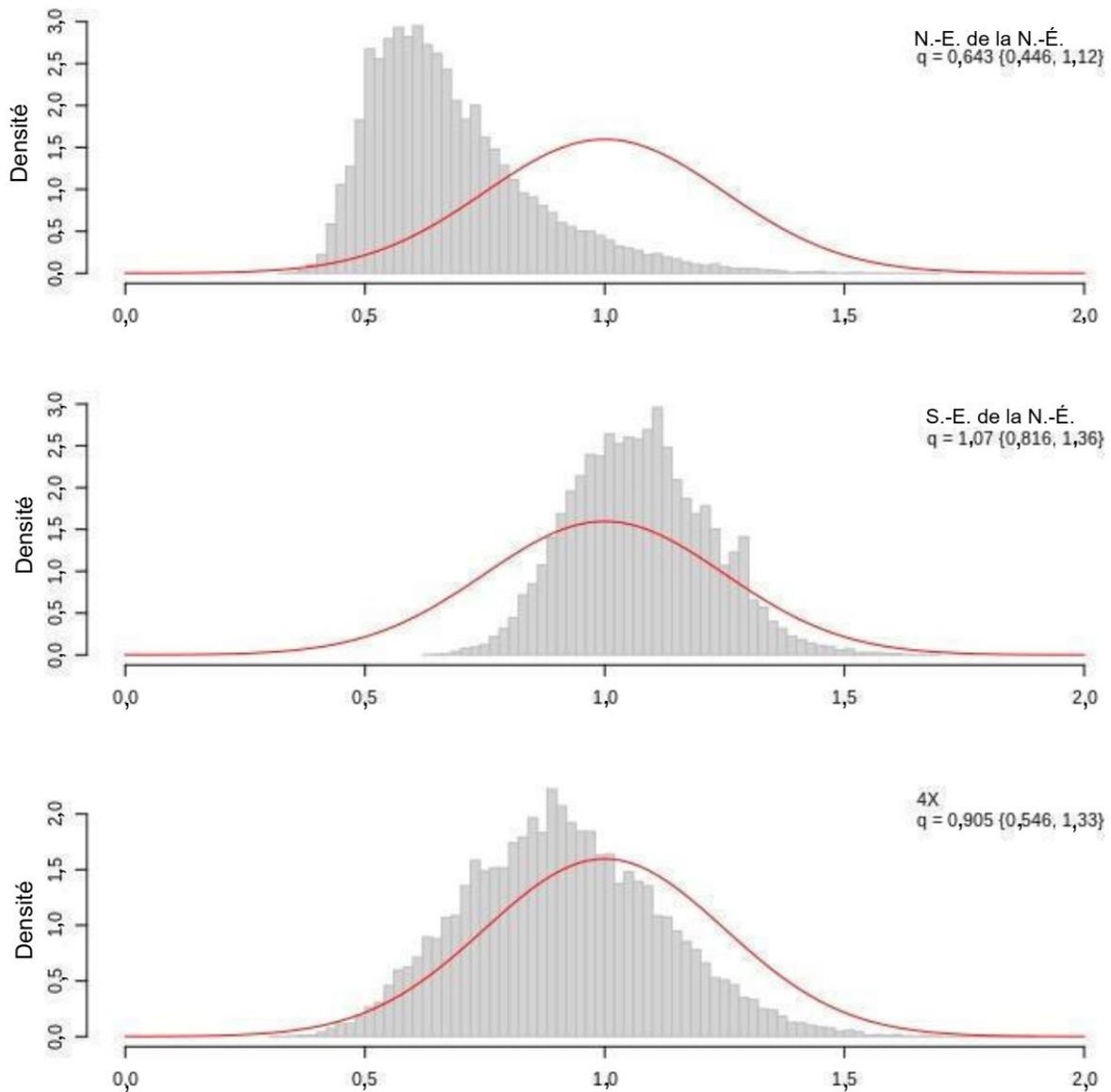


Figure 73. Distribution antérieure (rouge) et postérieure (barres) pour le paramètre de capturabilité,  $q$ , d'après le modèle dynamique de la biomasse de la production de crabe des neiges dans les zones de pêche du crabe sur le plateau néo-écossais. Une estimation de la médiane postérieure et un intervalle de crédibilité à 95 % sont donnés dans la légende de chaque panneau.

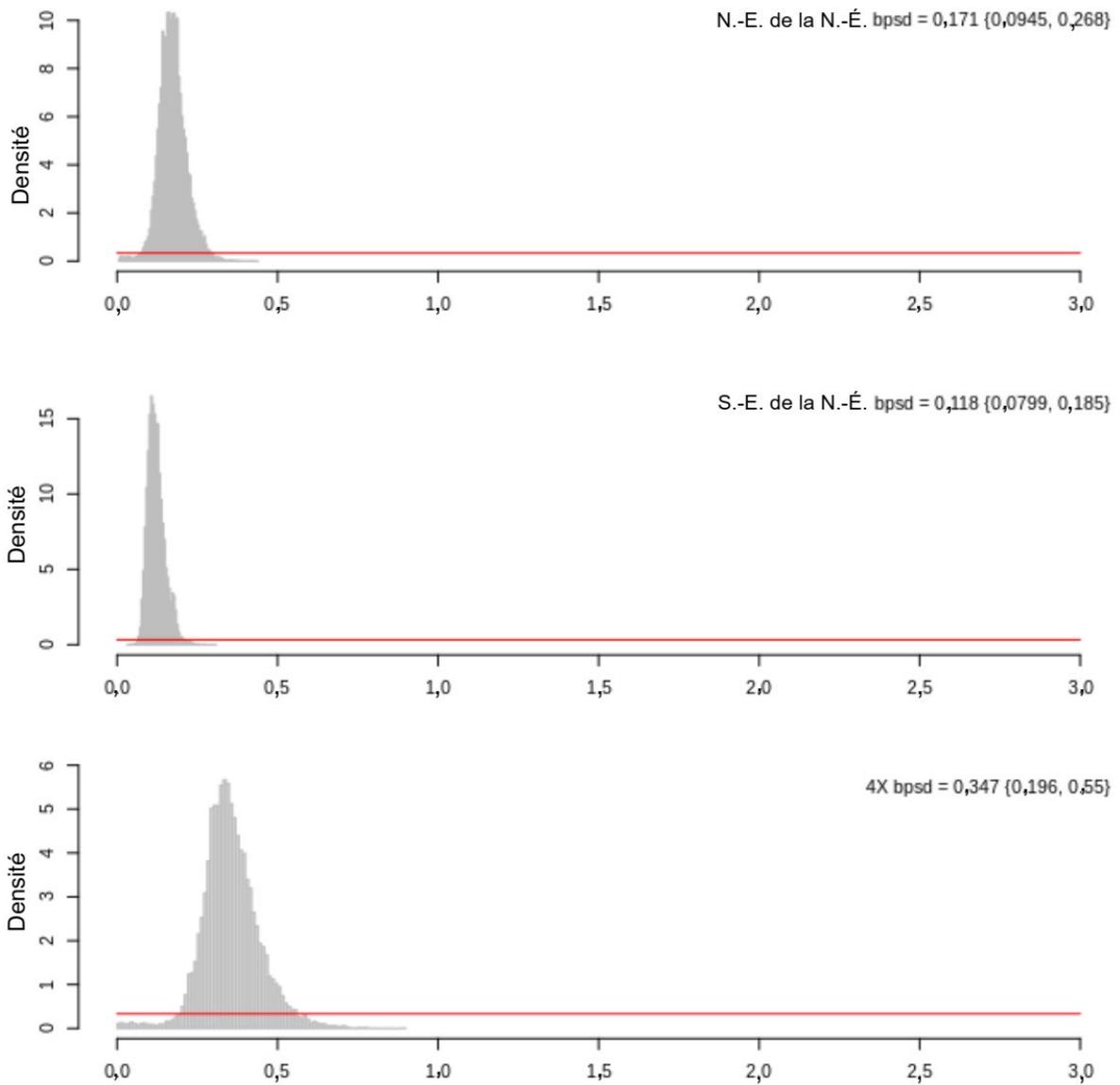


Figure 74. Distribution antérieure (rouge) et postérieure (barres) pour l'erreur de processus, d'après le modèle dynamique de la biomasse de la production de crabe des neiges dans les zones de pêche du crabe sur le plateau néo-écossais. Une estimation de la médiane postérieure et un intervalle de crédibilité à 95 % sont donnés dans la légende de chaque panneau.

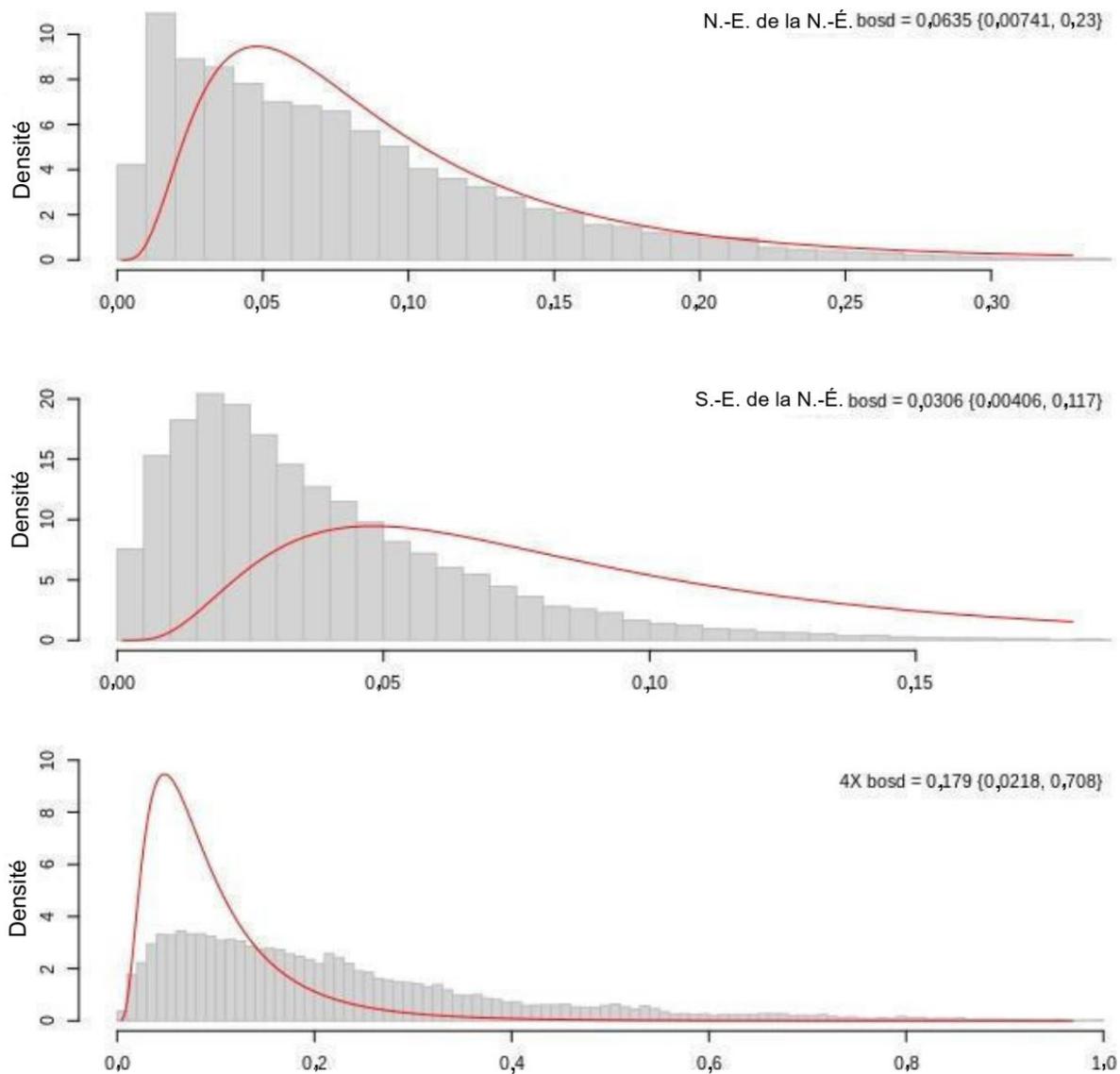


Figure 75. Distribution antérieure (rouge) et postérieure (barres) pour l'erreur d'observation, d'après le modèle dynamique de la biomasse de la production de crabe des neiges dans les zones de pêche du crabe sur le plateau néo-écossais. Une estimation de la médiane postérieure et un intervalle de crédibilité à 95 % sont donnés dans la légende de chaque panneau.

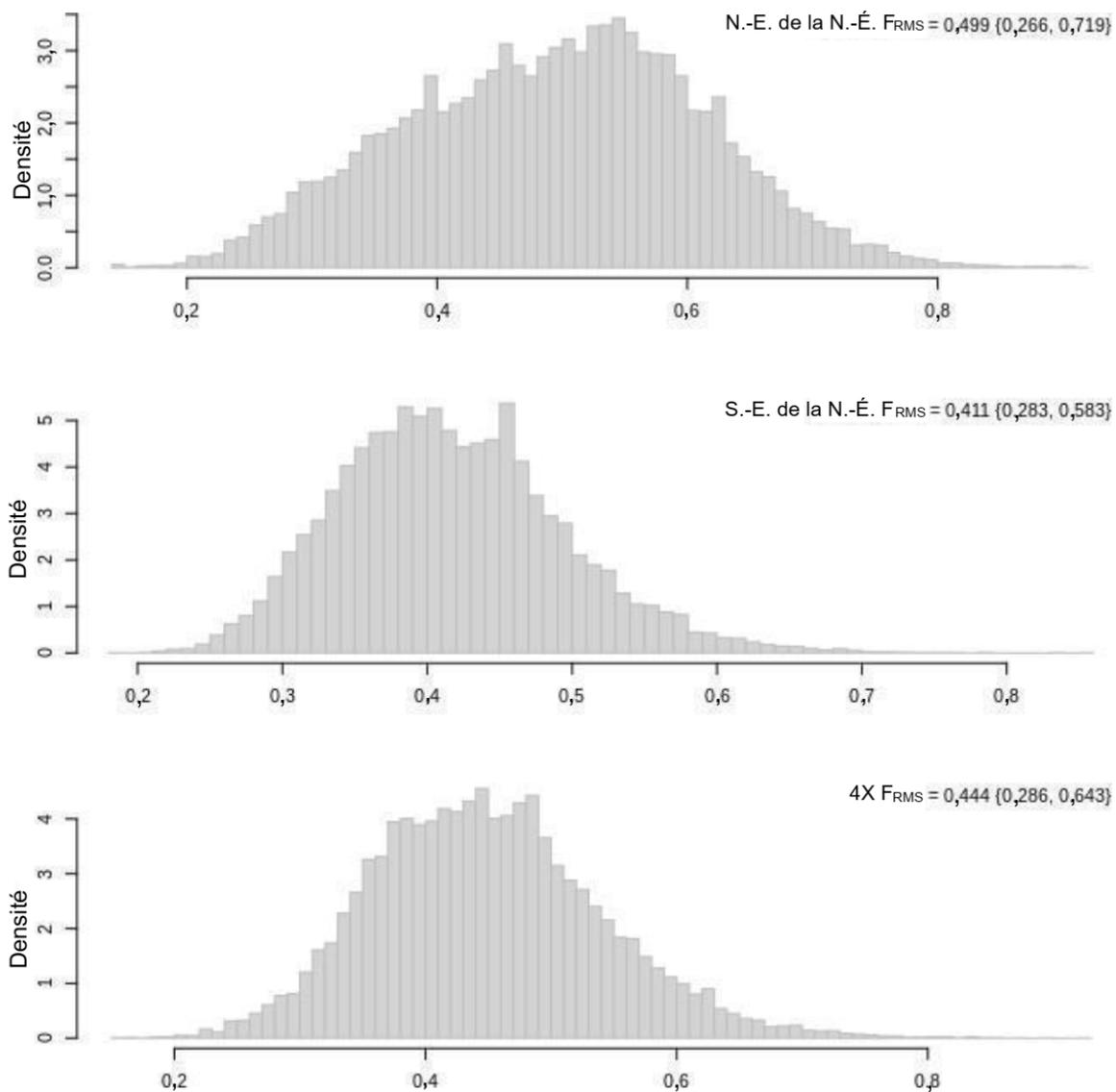


Figure 76. Distribution postérieure pour la mortalité par pêche au rendement maximal durable, d'après le modèle dynamique de la biomasse de la production de crabe des neiges dans les zones de pêche du crabe sur le plateau néo-écossais. Une estimation de la médiane postérieure et un intervalle de crédibilité à 95 % sont donnés dans la légende de chaque panneau.

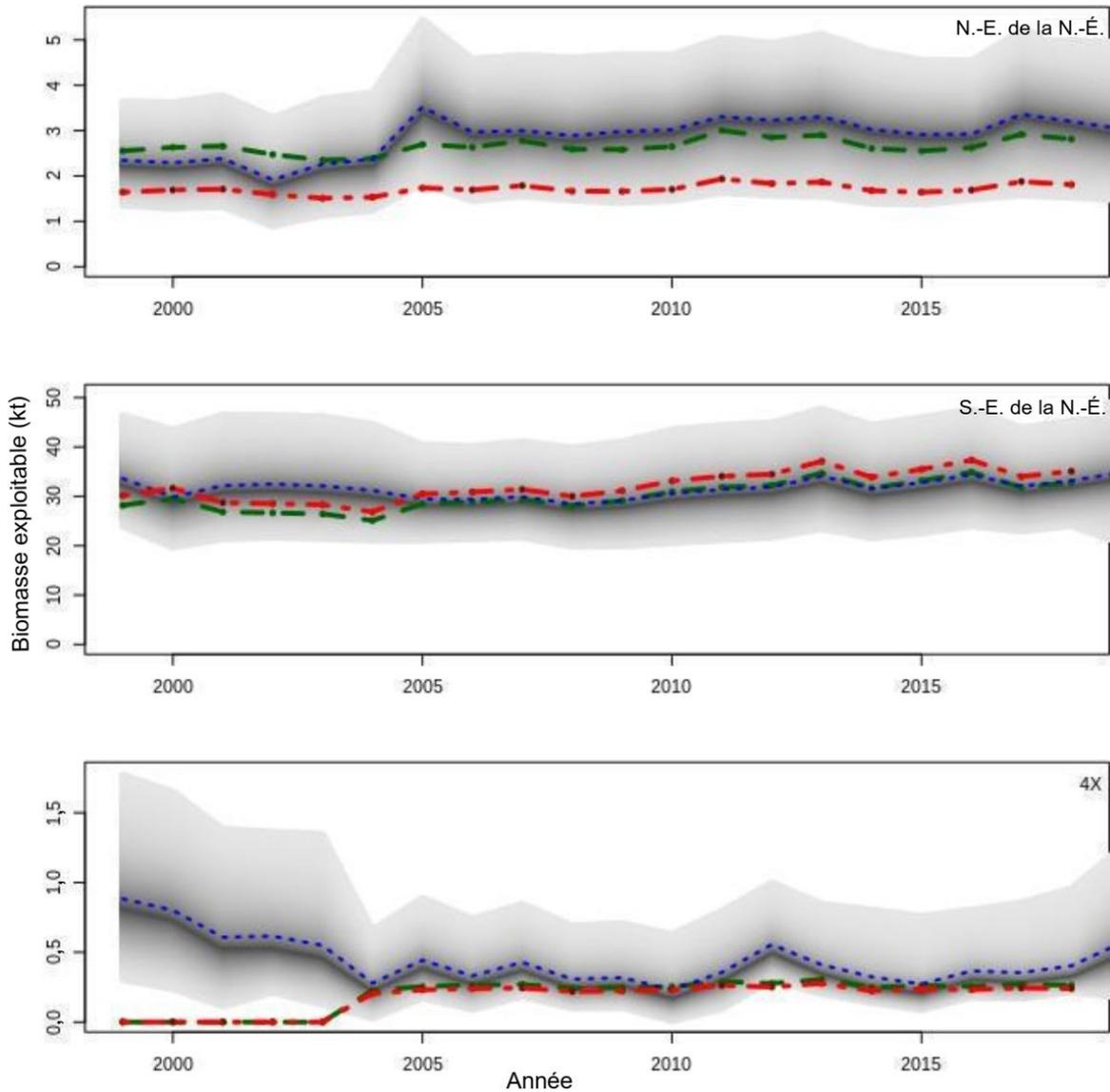


Figure 77. Série chronologique de la biomasse exploitable des modèles de population logistiques. L'indice de la biomasse exploitable est représenté par une courbe pointillée rouge. L'indice de la biomasse exploitable corrigé en fonction de  $q$  est indiqué par des lignes pointillées vertes. La biomasse exploitable moyenne postérieure estimée d'après le modèle logistique est représentée par une courbe pointillée bleue. La distribution de la densité des estimations de la biomasse exploitable postérieure est présentée (en gris) avec un IC à 95 %, et la zone la plus foncée représente les médianes.

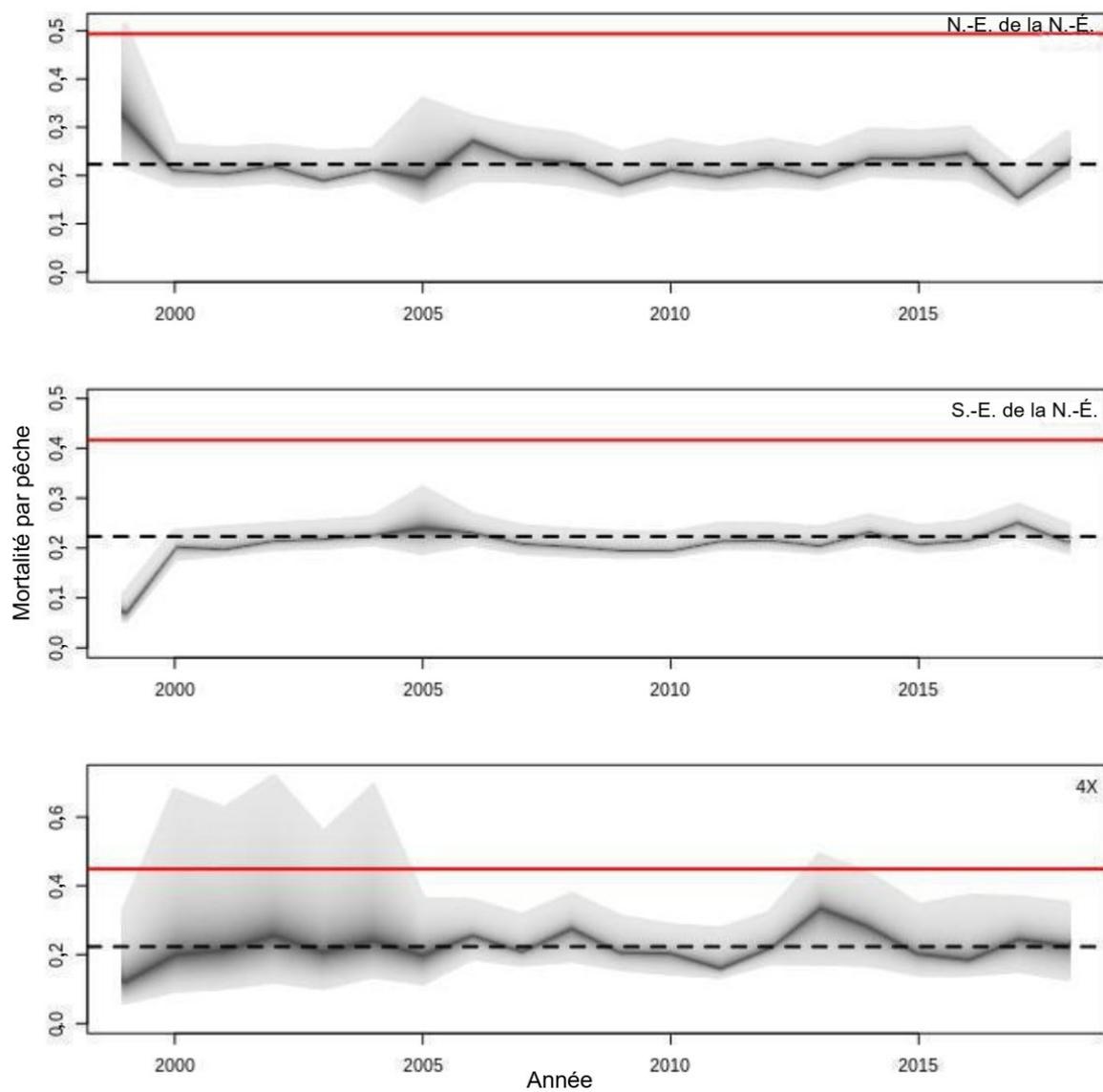


Figure 78. Séries chronologiques de la mortalité par pêche à partir des modèles logistiques de population pour le nord-est de la Nouvelle-Écosse, le sud-est de la Nouvelle-Écosse et la ZPC 4X, respectivement. La répartition de la densité a posteriori est présentée en gris et la ligne la plus foncée représente la médiane (IC de 95 %). La ligne rouge correspond au  $F_{RMD}$  estimé et la ligne pointillée foncée correspond au taux de prise de 20 %.

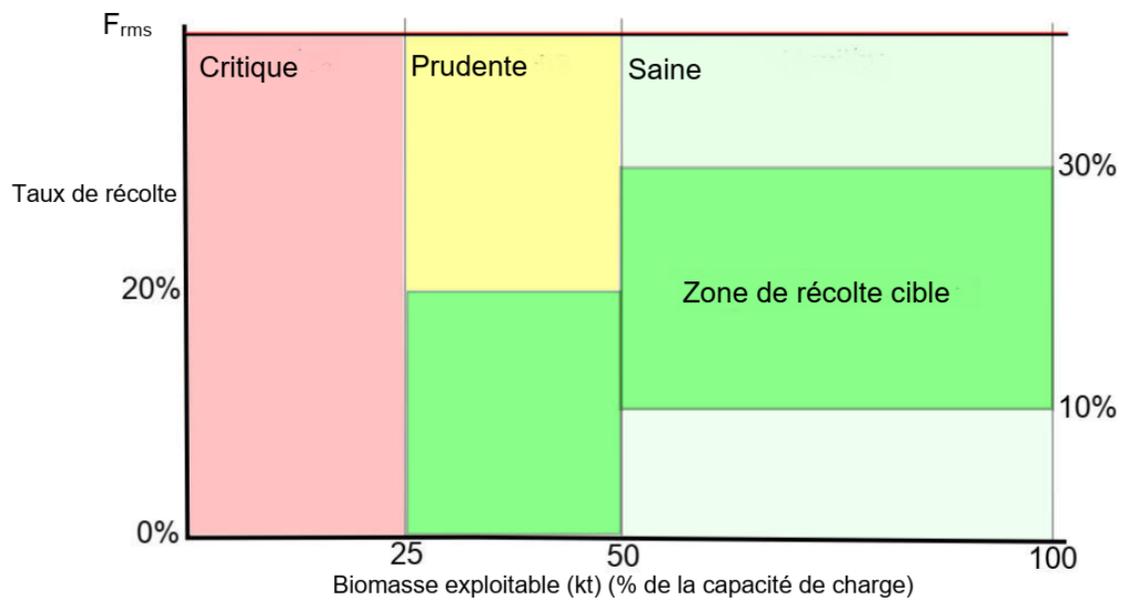


Figure 79. Règles de contrôle des prises pour la pêche du crabe des neiges du plateau néo-écossais.

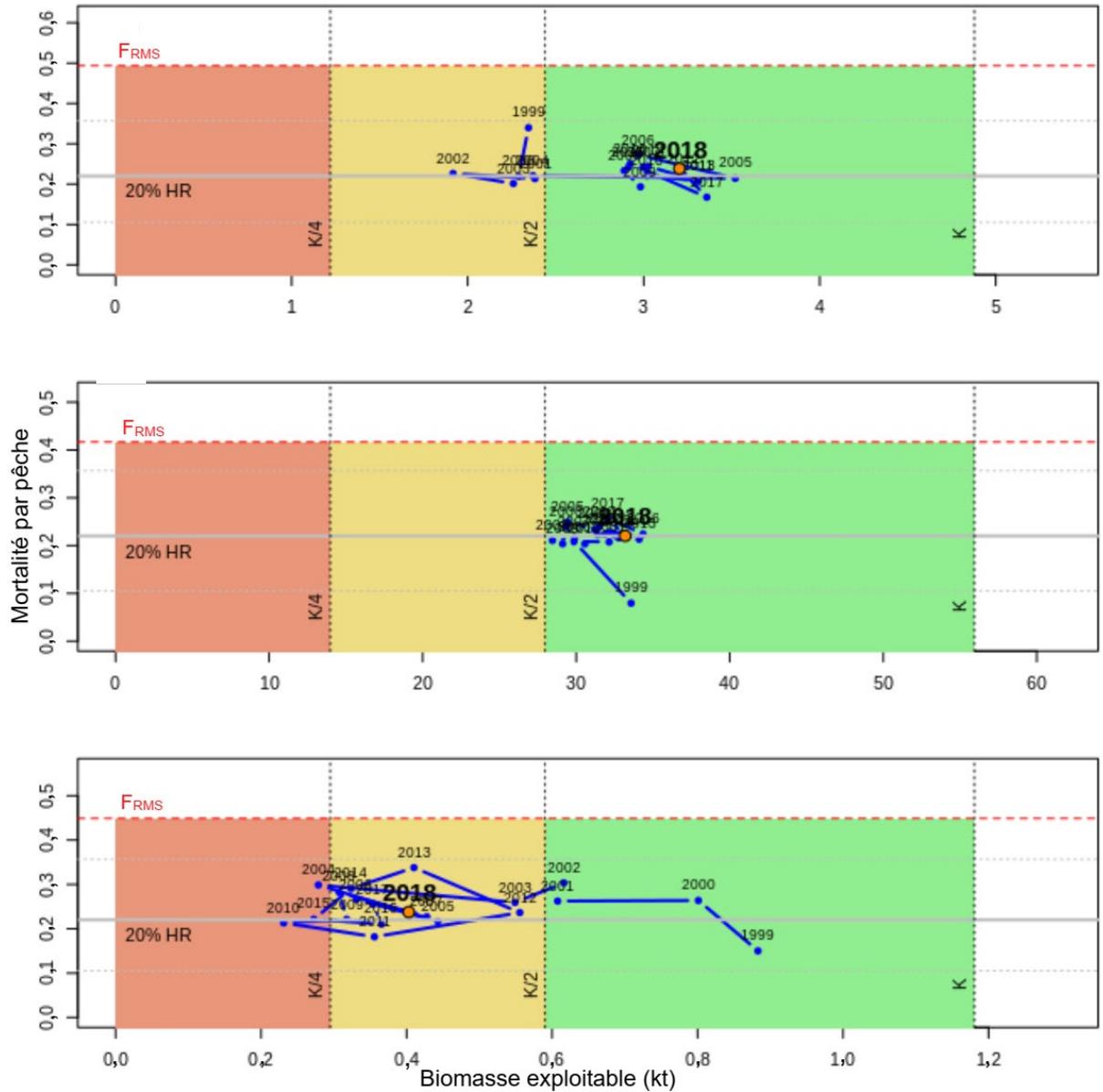


Figure 80. Série chronologique de la mortalité par pêche et de la biomasse avant la pêche du nord-est de la Nouvelle-Écosse (graphique du haut), du sud-est de la Nouvelle-Écosse (graphique du milieu) et de la ZPC 4X (graphique du bas), d'après les modèles de population logistiques. La position relative de la biomasse dans les zones d'état du stock est très limitée en raison des techniques actuelles d'estimation de l'abondance fondées sur les relevés. La variabilité réelle est probablement plus élevée si l'on se base sur des indices bruts d'abondance comme la densité des prises selon les relevés.

---

## ANNEXES

### ANNEXE 1 : MODÈLES DE VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELS

#### Introduction

Les processus écologiques et biologiques montrent une variabilité dans l'espace et dans le temps. La caractérisation et la compréhension de cette variabilité sont pertinentes pour la compréhension des processus et leur caractérisation/prévision. On tente d'aborder ces questions dans le plan d'échantillonnage en essayant d'équilibrer l'information obtenue et les coûts de l'échantillonnage. Les stratégies peuvent aller de l'échantillonnage complètement aléatoire en l'absence d'information supplémentaire à une forme quelconque de plan aléatoire stratifié qui choisit au hasard des échantillons à partir de strates limitées par des facteurs jugés pertinents ou informatifs. Une stratification aréale courante est bien sûr fondée sur des connaissances préalables qui sont connues ou que l'on croit informatives (p. ex. la profondeur, la température ou une caractéristique océanique), de sorte que la variabilité à l'intérieur des strates sera inférieure à celle entre strates. Plus la variabilité à l'intérieur des strates est faible (par rapport à la variabilité entre strates), plus la stratification des zones spatiales (« plan ») a permis de saisir les homogénéités locales dans le processus d'intérêt (p. ex. abondance de certains organismes); autrement dit, chaque échantillon est jugé plus représentatif de la strate qu'il représente.

Le problème, bien sûr, c'est que la taille de ces strates peut être réduite à des nombres ingérables à mesure que le nombre de facteurs informatifs augmente et que les types de processus augmentent également. De plus, l'emplacement de ces strates peut changer si elles sont basées sur des caractéristiques qui ne sont pas géographiquement fixes, comme la température, les niveaux d'oxygène, l'abondance des proies ou des prédateurs, les niveaux de lumière, etc. Par conséquent, cette approche « ajustée » grossièrement l'influence de ces facteurs « étrangers » par une repondération brute de la variance totale de sorte qu'ils puissent ensuite être ignorés. Ces facteurs sont cependant très instructifs, et les ignorer pour des raisons de simplicité en les « éliminant » peut conduire à des conclusions erronées sur les processus d'intérêt principaux, surtout lorsqu'ils sont dynamiques.

Il existe deux approches principales pour intégrer ces informations supplémentaires : (1) un processus spatialement continu et (2) des unités aréales spatialement agrégées. Les deux approches décomposent les modèles spatiaux en ceux qui sont associés aux facteurs informatifs, aux modèles structurés d'autocorrélation spatiale et aux erreurs complètement non structurées dans l'espace. Dans ce qui suit, nous résumerons le contexte général du domaine, en suivant de près l'exposé exceptionnellement clair et approfondi de Banerjee *et al.* (2004) de ces idées. Pour faciliter l'évaluation des stocks et la modélisation spatiale et spatio-temporelle générale de zones potentiellement étendues, certaines de ces méthodes ont été formulées dans [un ensemble R, « stmv »](#). Cette annexe servira également à documenter ces méthodes.

#### Représentation continue

##### *Autocorrélation spatiale*

Pour être précis, nous nous concentrons sur toute observation spatialement référencée  $Y_s$  à des lieux  $s$ , mesurés dans un espace de coordonnées dont le domaine  $D$  a une dimensionnalité  $d$  telle que  $\{s \in D \in \mathfrak{R}^d\}$ . Nous nous concentrons sur le cas simple des dimensions spatiales  $d = 2$ , telles que, par exemple,  $s = (\text{northing}, \text{easting})$ . On suppose que les observations  $Y_s$  sont la réalisation d'un **processus stochastique spatial**,  $y$ , c'est-à-dire d'une fonction latente non observable, mais réelle, stochastique, générative (c'est-à-dire un champ aléatoire spatial) telle

que  $y_s \rightarrow Y_s$  à des emplacements spatiaux  $\{k = 1, \dots, K\}$ . La façon dont la variabilité de  $y_s$  change en fonction de la distance,  $h = \|s - s'\|$ , est connue sous le nom de fonction d'autocorrélation spatiale. Les  $\|\cdot\|$  indiquent une norme qui dans les dimensions  $d = 2$  est la distance euclidienne,  $h = (\Delta\text{northing}^2 + \Delta\text{easting}^2)^{1/2}$ .

Le modèle spatial est exprimé comme un modèle de régression d'un processus stochastique (Banerjee *et al.* 2004) :

$$Y_s = g(x_s^T \beta + \omega_s + \varepsilon_s),$$

où les observations  $Y_s$  sont fonction d'un processus moyen  $x_s^T \beta$  (parfois appelé « dérive externe » dans la littérature sur le krigeage) et d'un processus d'erreur résiduelle  $(\omega_s + \varepsilon_s)$ , fonctionnant potentiellement dans le contexte des modèles linéaires généralisés au moyen de la fonction de liaison  $g(\cdot)$ . Les  $x_s$  sont des prédicteurs spatialement référencés avec les paramètres associés  $\beta$ . Le processus d'erreur résiduelle est décomposé en composantes spatialement structurées  $\omega_s$  et spatialement non structurées  $\varepsilon_s$ , les deux ayant une moyenne de zéro. Cette dernière est aussi communément appelée l'erreur « pépite » en géostatistique et est utilisée pour représenter la variabilité et les processus de mesure et de microéchelle; généralement, on suppose qu'elle a une distribution normale et un écart-type  $\sigma_\varepsilon$ . On suppose que l'erreur spatiale suit un **processus gaussien** avec une moyenne de zéro et une fonction de covariance spatiale  $C(s, s'; \theta)$  qui décrit la forme de la variance du processus en fonction de la distance entre les données, contrôlée par les paramètres  $\theta$  et l'écart-type spatialement structuré  $\sigma_\omega$  (voir ci-dessous). La spécification du modèle complète est donc la suivante :

$$\begin{aligned} Y_s &= \mu_s, \\ g(\mu_s) &= x_s^T \beta + \omega_s + \varepsilon_s, \\ \varepsilon_s &\sim N(0, \sigma_\varepsilon^2), \\ \omega_s &\sim GP(0, C(s, s'; \theta)). \end{aligned}$$

Ce qui précède équivaut à supposer une probabilité normale à plusieurs variables pour les observations  $Y = (Y_{s_1}, \dots, Y_{s_K})^T$ , avec une moyenne  $\mu = [x_{s_i}^T]_{i=1}^K \beta$  et une matrice de covariance  $\Sigma = [C(s_i, s_j; \theta)]_{i,j=1}^K + \tau^2 I_K$ , de sorte que  $Y \sim MVN(\mu, \Sigma)$ ; avec  $I_K$  une matrice d'identité de taille  $K$ . Il est également plus efficace sur le plan du calcul, car il y a moins d'évaluations de vraisemblance et des mises en œuvre rapides et rares de la normale à plusieurs variables.

La fonction de covariance spatiale  $C(h) = C(s, s'; \theta)$  exprime la tendance des observations plus proches les unes des autres à être plus semblables entre elles que celles plus éloignées. Les formes les plus couramment utilisées sont les suivantes :

$$\begin{aligned} C(h)_{\text{Spherical}} &= \begin{cases} \sigma_s^2 \left(1 - \frac{3}{2} h/\phi + \frac{1}{2} (h/\phi)^3\right); & 0 < h \leq \phi \\ 0; & h > \phi, \end{cases} \\ C(h)_{\text{Exponential}} &= \sigma_s^2 e^{-h/\phi}, \\ C(h)_{\text{Gaussian}} &= \sigma_s^2 e^{-(h/\phi)^2}, \\ C(h)_{\text{Powered exponential}} &= \sigma_s^2 e^{-|h/\phi|^p}, \\ C(h)_{\text{Matérn}} &= \sigma_s^2 \frac{1}{2^{\nu-1} \Gamma(\nu)} (\sqrt{2\nu} h/\phi)^\nu K_\nu(\sqrt{2\nu} h/\phi). \end{aligned}$$

À une distance de zéro,  $C(0) = \text{Cov}(Y_s, Y_s) = \text{Var}(Y_s) = \sigma_\varepsilon^2 + \sigma_s^2$  (c.-à-d. la variance globale), où  $\sigma_\varepsilon$  est l'erreur non spatiale,  $\sigma_s$  est l'erreur spatialement structurée, et  $\theta = \{\phi, \nu, p, \dots\}$  sont les paramètres propres à la fonction, y compris  $\phi$  le paramètre de portée.  $\Gamma(\cdot)$  est la fonction

Gamma et  $K_\nu(\cdot)$  est la fonction de Bessel de deuxième espèce avec un lissage  $\nu$ . La fonction de covariance de Matérn est fréquemment utilisée dans la littérature plus récente, car la forme de cette fonction est plus souple (figure A1.1).

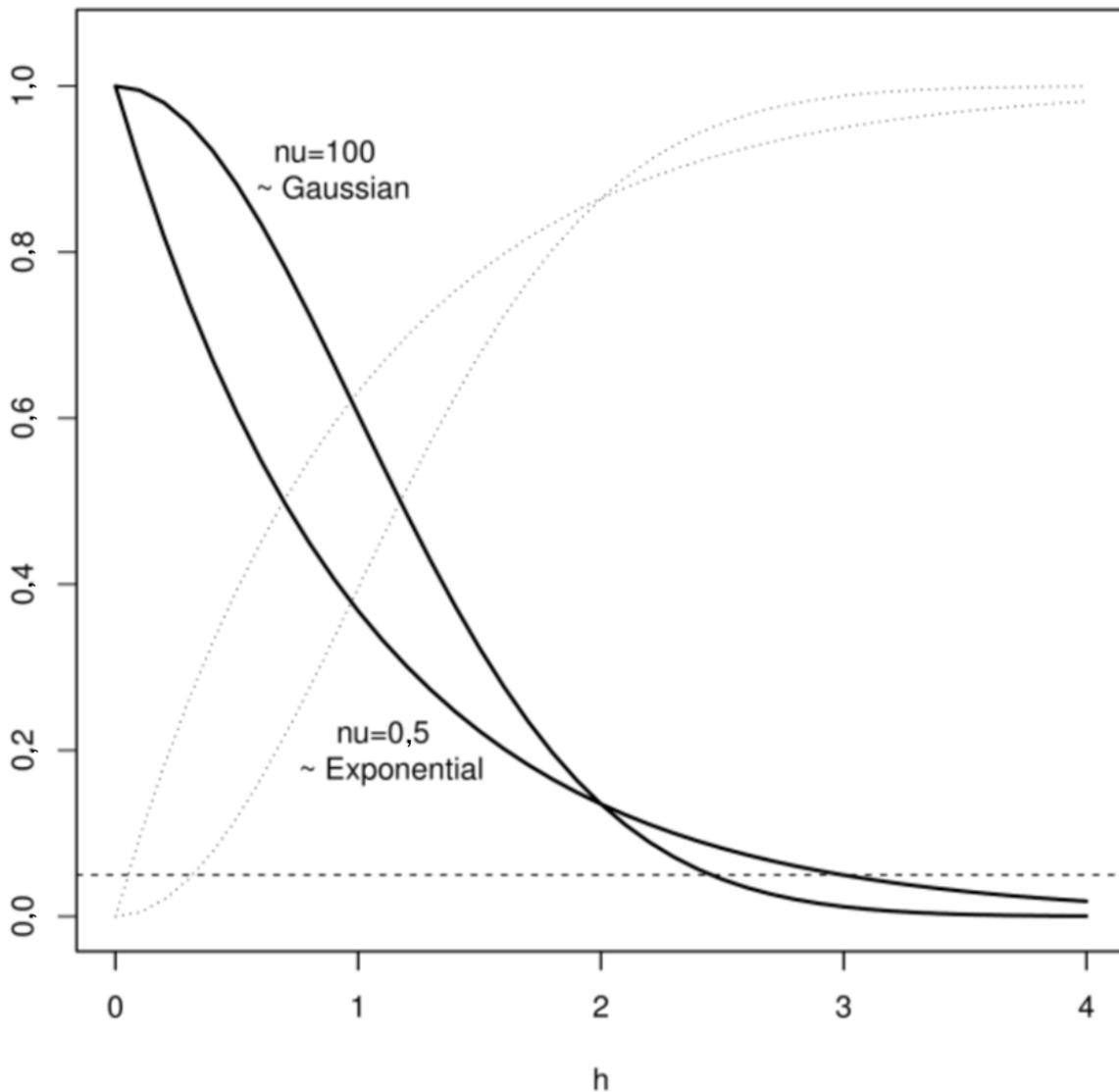


Figure A1.1. Fonction d'autocorrélation de Matérn,  $\rho(h) = C(h)/C(0)$ , la fonction de covariance  $C(h)$  mise à l'échelle par la variance totale  $C(0)$ , pour deux valeurs de  $\nu$  (courbes foncées). Comme  $\nu$  augmente ( $\nu = 100$ ), elle se rapproche de la courbe de Gauss (courbe foncée supérieure sur le côté gauche), tandis qu'à des valeurs inférieures ( $\nu = 0.5$ ) la courbe est exponentielle (courbe foncée inférieure sur le côté gauche). Cette flexibilité en a fait un choix populaire en géostatistique. Les semi-variogrammes connexes (mis à l'échelle selon la variance unitaire)  $\gamma(h)$  sont présentés sous la forme de courbes pointillées claires. L'échelle spatiale est définie comme la distance  $h$  à laquelle l'autocorrélation diminue à 0,05 % (ligne horizontale pointillée) — dans cet exemple, entre 2,5 et 3 unités, en fonction de la valeur de  $\nu$ . La semivariance (aussi appelée « semi-variogramme »)  $\gamma(h)$ , est plus couramment utilisée dans la littérature du krigeage, et est simplement la fonction de covariance  $C(h)$  reflétée sur l'axe horizontal de la variance globale  $C(0)$  telle que  $\gamma(h) = C(0) - C(h) = \frac{1}{2} \text{Var}[Y_s - Y_s'] = \sigma_\omega^2 [1 - \rho(h)]$ .

Il est impératif de définir l'échelle spatiale d'une observation ou d'un processus donné pour l'élaboration de toute évaluation ou surveillance écologique. La **fonction d'autocorrélation**

**spatiale** est définie comme la fonction de covariance mise à l'échelle par la variance globale :  $\rho(h) = C(h)/C(0)$ . Sur le plan heuristique, nous définissons l'**échelle d'autocorrélation spatiale** comme étant la distance à laquelle l'autocorrélation spatiale diminue de façon asymptotique à  $\rho(x) \rightarrow 0,05$  (parfois appelée la plage « pratique » dans la littérature). Cette échelle spatiale d'un processus écologique est instructive en ce sens que lorsque les processus à courte portée dominant par rapport à l'échelle de l'ensemble du domaine, par exemple lorsqu'on se concentre sur des espèces moins mobiles, faiblement dispersées, de faibles courants, l'hétérogénéité des habitats; alors la surveillance de ces processus peut être importante et fructueuse pour distinguer ce qui structure une région d'intérêt. Si, toutefois, les processus à long terme dominant par rapport à l'échelle du domaine dans son ensemble, par exemple lorsqu'on se concentre sur des espèces plus mobiles ou des processus de dispersion/courant et sur une plus grande connectivité spatiale, l'hétérogénéité des habitats, alors il est moins probable que la surveillance de ces processus permettra de comprendre la structure interne du secteur visé.

C'est peut-être plus clair lorsque l'échelle spatiale est étudiée dans le contexte d'organismes précis. Par exemple, lorsqu'une caractéristique spatiale (p. ex. la répartition de l'abondance dans l'espace) démontre des échelles spatiales caractéristiques limitées (c.-à-d. une variabilité spatiale importante à des échelles plus petites), les approches d'échantillonnage doivent respecter cela et doivent, de la même façon, fonctionner à des échelles aussi limitées, voire plus limitées, si l'on veut être en mesure de résoudre les profils et de décrire correctement le sujet d'intérêt. De même, si une caractéristique spatiale a une longue portée et que l'on souhaite résoudre les profils correctement, alors un protocole d'échantillonnage doit avoir une longue portée pour résoudre le profil. Un programme d'échantillonnage beaucoup plus petit que l'échelle spatiale caractéristique serait avantageux, mais les avantages qui en découlent par rapport au coût de l'échantillonnage diminueraient rapidement dans la mesure où les besoins en temps, en efforts et en ressources augmentent généralement plus rapidement que les avantages (p. ex. dans le cas le plus simple, si on ne fait que considérer naïvement l'erreur standard comme une mesure des avantages, ceux-ci augmenteraient asymptotiquement avec les efforts accrus, à une capacité de  $-1/2$ ).

### ***Autocorrélation temporelle***

Les systèmes écologiques étant dynamiques, ils existent aussi dans un cadre temporel. Ainsi, à l'instar des considérations spatiales ci-dessus, il existe aussi une échelle temporelle caractéristique sur laquelle les processus internes à une zone d'intérêt et à une période d'intérêt s'exercent. L'exemple canonique est la façon dont certaines quantités changent d'une période à l'autre. Cette notion d'autocorrélation temporelle en temps discret est le paramètre de pente d'un graphe d'une variable en fonction de celle-ci avec un décalage d'une unité de temps :

$$v_{t+1} = \rho v_t + \eta_t,$$

avec  $\eta_t \sim N(0, \sigma_t^2)$  et un paramètre d'autocorrélation temporelle (linéaire)  $\rho$ . C'est ce qu'on appelle un processus AR(1), où le 1 indique un délai de 1 unité. Des modèles plus complexes avec des moyennes mobiles et des décalages temporels supplémentaires peuvent également être spécifiés. Collectivement, ces modèles sont connus sous les noms de modèles AR, ARMA et ARIMA. La difficulté de ces formulations de séries chronologiques d'autocorrélation réside dans l'exigence d'une série complète de données sans données manquantes.

Le **périodogramme cumulatif** exprime la variance  $f(\omega)$  en fonction de la distance temporelle (longueurs d'onde  $\omega$ ) et est donc un analogue du semi-variogramme spatial. Il s'agit d'une estimation d'échantillons discrète du concept continu de densité spectrale,  $\gamma(t)$  :

$$\gamma(t) = \int_{-1/2}^{1/2} e^{2\pi i \omega t} f(\omega) d\omega \leftrightarrow f(\omega) = \sum_{h=-\infty}^{h=\infty} \gamma(t) e^{-2\pi i \omega t}.$$

Comme l'autocovariance et la densité spectrale sont des paires de transformée de Fourier, une transformée de Fourier rapide peut être utilisée pour évaluer rapidement le spectre de puissance et déterminer la forme empirique du périodogramme.

En effet, toute fonction d'autocorrélation spatiale (ci-dessus) peut être utilisée pour décrire la forme empirique du modèle d'autocorrélation temporelle et modélisée d'une manière totalement analogue au cas spatial en tant que **processus stochastique temporel**,  $y_t$ , c'est-à-dire une fonction latente, non observable, mais réelle, stochastique et générative telle que  $y_t \rightarrow Y_t$ , où  $Y_t$  sont toute observation référencée dans le temps  $t$ , mesurée dans un espace de coordonnées dont le domaine  $D$  a une dimensionnalité 1 telle que  $\{t \in D \in \mathfrak{R}\}$  avec des positions temporelles  $\{l = 1, \dots, L\}$ . La façon dont la variabilité de  $y_t$  change en fonction de la norme,  $h = \|t - t'\|$ , est connue sous le nom de fonction d'autocorrélation spatiale. Cette dernière peut prendre n'importe quelle forme, y compris la même que les fonctions d'autocorrélation spatiale. La formulation du modèle est identique à celle du cas spatial :

$$\begin{aligned} Y_t &= \mu_t, \\ g(\mu_t) &= x_t^T \beta + \omega_t + \varepsilon_t, \\ \varepsilon_t &\sim N(0, \sigma_\varepsilon^2), \\ \omega_t &\sim GP(0, C(t, t'; \theta)). \end{aligned}$$

La fonction de covariance, par exemple, lorsqu'elle est exprimée sous la forme d'un modèle de décroissance exponentielle contrôlé par un paramètre de plage de temps  $\phi_t$  est :

$$C(t, t'; \theta_t) = \sigma_t^2 e^{-|h|/\phi_t}.$$

Comme dans le cas des échelles spatiales, les échelles temporelles ont aussi une implication simple en termes de suivi et d'évaluation. Les variations d'intervalles de temps courts nécessitent un effort d'échantillonnage plus important pour résoudre/comprendre les problèmes et inversement. L'échelle temporelle étant une mesure informative de la surveillance et de l'évaluation d'un processus écologique, nous devons la définir de manière précise. La distribution cumulative permet une identification rapide de l'échelle de temps à laquelle la corrélation tombe à un niveau arbitraire. Pour qu'elle soit approximativement comparable à l'échelle spatiale, nous définissons l'**échelle d'autocorrélation temporelle** comme la différence de temps (longueur d'onde) à laquelle la fonction d'autocorrélation temporelle (1 — Densité spectrale de puissance cumulative) diminue à 5 % de la variance totale. Si l'objectif d'une étude est de résoudre des processus à court terme, l'échantillonnage doit aussi nécessairement être plus fréquent. Cependant, comme avec les problèmes liés à l'échelle spatiale, à un moment donné, on constatera des rendements décroissants parallèlement à toute augmentation de la résolution d'un signal temporel.

### **Autocorrélation spatio-temporelle**

Des profils spatio-temporels coexistent et évoluent conjointement. Il s'agit de processus corrélés et il est difficile de les modéliser. Cela rend problématiques le traitement indépendant et l'estimation d'autocorrélation dans le temps et l'espace. Néanmoins, de nouveaux développements dans les méthodes de calcul permettent d'utiliser de tels modèles. Cela est principalement dû aux méthodes efficaces liées à la modélisation numérique des équations différentielles partielles stochastiques (EDPS), et l'utilisation de méthodes spectrales (Fourier).

Encore une fois, à la suite du développement de Banerjee *et al.* (2004), les modèles spatio-temporels peuvent être considérés comme une simple extension du modèle de

régression spatiale. Les observations,  $Y_{s,t}$  sont mesurées dans un espace de coordonnées  $\{(s, t) \in D \in \mathbb{R}^d \times \mathbb{R}\}$  dans le domaine  $D$  de la dimensionnalité  $d + 1$  avec des positions spatiales et temporelles  $\{l = 1, \dots, L\} \{k = 1, \dots, K\}$ . Le modèle de régression spatio-temporel peut alors être précisé comme suit :

$$Y_{s,t} = g(\mu_{s,t} + \omega_{s,t} + \varepsilon_{s,t}),$$

où,  $\mu_{s,t} = x_{s,t}^T \beta_{s,t}$  est le processus moyen (ou « dérive externe » dans la littérature de krigeage) et le processus d'erreur est décomposé en une composante structurée de façon spatio-temporelle  $\omega$  et une composante non structurée  $\varepsilon$ , fonctionnant à nouveau sous un cadre de modèle linéaire généralisé, par l'action de la fonction de liaison  $g(\cdot)$ . Les paramètres  $\beta_{s,t}$  des prédicteurs à référence spatiale et temporelle  $x_{s,t}$  peuvent avoir des formes variables :

- $\beta$  — complètement fixe (sans aucune variation dans le temps et l'espace);
- $\beta_{-,t}$  — variable dans le temps et sans structure spatiale;
- $\beta_{s,-}$  — variable dans l'espace et sans structure temporelle;
- $\beta_{s,-} \text{ ou } \beta_{-,t}$  — espace et temps variant indépendamment (séparément, le « \* » indique additive ou multiplicative);
- $\beta_{s,t}$  — variant à la fois dans le temps et dans l'espace (non séparables) et potentiellement hiérarchiquement (non simplement).

On suppose que l'erreur non structurée est un processus d'erreur Normal iid :  $\varepsilon_{s,t} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$ . Cependant, la manière dont l'erreur spatio-temporelle doit être paramétrée n'est pas simple. Voici quelques approches courantes :

- $\omega_{-,t}$  — effets temporels imbriqués dans les sites (autocorrélation temporelle à chaque site, pas d'autocorrélation spatiale);
- $\omega_{s,-}$  — effets spatiaux imbriqués dans le temps (autocorrélation spatiale à chaque tranche de temps, pas d'autocorrélation temporelle);
- $\omega_{s,-} * \omega_{-,t}$  — séparables (les autocorrélations spatiales et temporelles sont indépendantes, le « \* » indique additive ou multiplicative avec  $\omega_{-,t} \sim GP(0, C(t, t'; \theta_t))$  et  $\omega_{s,-} \sim GP(0, C(s, s'; \theta_s))$ );
- $\omega_{s,t}$  — indissociables (la structure dans le temps et l'espace évolue d'une façon complexe).

Généralement, on suppose que les erreurs spatiales et temporelles sont dérivées d'un **processus gaussien** avec une moyenne de 0 et une certaine covariance  $C(\cdot, \cdot; \theta)$ . La covariance spatiale peut être modélisée à l'aide de toute forme spatiale comme :  $C(\Delta s)_{\text{Matérn}} = \sigma_s^2 \frac{1}{2\nu-1\Gamma(\nu)} (\sqrt{2\nu}|\Delta s|/\phi)^\nu K_\nu(\sqrt{2\nu}|\Delta s|/\phi)$ . De même, la covariance temporelle peut être formulée comme tout modèle d'autocorrélation similaire tel que :

$$C(\Delta t)_{\text{Exponential}} = \sigma_t^2 e^{-|\Delta t|/\phi_t}.$$

Bien qu'elle soit cohérente et élégante sur le plan conceptuel, l'évaluation des probabilités dans ces modèles exige le calcul répété de l'inverse de la matrice  $\Sigma_{n \times n}$  de covariance de taille  $n$ , une opération qui s'adapte aux opérations  $\mathcal{O}(n^3)$ . Cela a été un obstacle à l'élaboration ultérieure de ces méthodes fondées sur la covariance dans des problèmes à grande échelle en matière d'espace et d'espace-temps. Des approximations ont été proposées pour surmonter cette limite de calcul : modéliser le processus spatial  $\omega$  au moyen d'un processus dimensionnel inférieur par l'intermédiaire de convolutions de noyaux, déplacer des moyennes, fonctions splines/de

base de degré faible et processus prédictifs (projection d'un processus spatial sur un sous-ensemble plus petit; Sølna et Switzer 1996, Wikle et Cressie 1999, Huang *et al.* 2004, Xu *et al.* 2005, Banerjee *et al.* 2004); estimer approximativement le processus spatial comme un champ aléatoire de Markov avec les approximations de Laplace et d'EDPS (Lindgren et Rue 2015) et estimer approximativement la vraisemblance du processus spatio-temporel d'EDPS à l'aide d'un processus du domaine spectral (Sigrist *et al.* 2012).

Dans le contexte spatio-temporel, les modèles séparables sont presque toujours utilisés pour des raisons de vitesse de calcul, car ils traitent l'espace et le temps de façon indépendante, ce qui réduit les problèmes grossièrement de  $\mathcal{O}((KL)^3)$  à  $\mathcal{O}(K^3) + \mathcal{O}(L^3)$  opérations; où  $K$  est le nombre de positions spatiales et  $L$  le nombre de tranches de temps. En réalité, cependant, ces modèles séparables sont généralement inappropriés à moins que la zone d'étude ne soit homogène et vraiment constante de premier et de second ordre (c.-à-d. moyenne constante, variance dans le temps et l'espace), un fait qui est rarement vrai dans la plupart des systèmes écologiques (voir ci-dessous).

### Modèles spatio-temporels de variabilité (stmv)

Une hypothèse centrale de tous les modèles spatio-temporels et spatiaux est que la forme et l'ampleur de l'autocorrélation dans l'espace (et le temps) sont stationnaires (moyenne constante et variance). Cela peut être forcé d'être le cas en modélisant les effets moyens et en opérant sur une erreur résiduelle qui est stationnaire. Toutefois, dans la pratique, il existe également une hétérogénéité spatiale de la variance qui ne peut être facilement modélisée dans un simple contexte de régression. C'est notamment le cas en biologie où l'agrégation et le comportement dépendent fortement du contexte (lieu et temps) [non linéaire].

Dans l'approche stmv, nous abordons cette non-stationnarité et cette non-séparabilité de la structure spatiale et temporelle et les questions connexes de vitesse de calcul et de complexité en formulant une approche simpliste, mais opérationnelle du problème spatio-temporel global. Pour ce faire, on réduit le problème à de petits sous-domaines gérables où les hypothèses de stationnarité sont valides et où la modélisation des processus spatio-temporels devient faisable sur le plan informatique. Il y a donc une certaine similitude conceptuelle entre cette approche et la « régression pondérée géographiquement » (p. ex. Fotheringham *et al.* 2002), car chaque sous-domaine peut avoir ses propres paramètres de modèle  $\beta_{s,t}$ . Cependant, nous soulignons que dans stmv, ce ne sont pas seulement les paramètres du modèle  $\beta_{s,t}$  qui peuvent être variables, mais aussi les erreurs spatio-temporelles  $\varphi_{s,t}$ .

Pour être plus précis, dans le domaine spatio-temporel  $D$ , où  $\{(s, t) \in D \in \mathfrak{R}^d \times \mathfrak{R} | d = 2\}$  définit l'espace de coordonnées, nous définissons également des nœuds statistiques  $\{N_{m=(1,\dots,M)} | m \in \mathfrak{R}^d\}$  dans un réseau spatial (ou peut-être comme des centroïdes d'un maillage, bien que cela ne soit pas encore mis en œuvre). La norme (distance) des données de chaque nœud est  $h_m = ||s_m, s_Y||$ . Un sous-domaine local d'un nœud donné  $m$  est  $\{S_{m=(1,\dots,M)} \in D | h_m < h_u\}$  ou plus brièvement comme  $S_m$  qui représente tous les emplacements situés à une certaine distance du nœud statistique  $\{h_u | C(h_u)_{\text{Matérn}} = 0.05\}$ ; c'est-à-dire la distance à laquelle l'autocorrélation spatiale locale tombe à une valeur négligeable ( $< 0,05$ ). Les données trouvées dans le sous-domaine  $m$  sont  $\{Y_{s,t} | (s, t) \in D | h_m < h_u\}$  celles qui seront abrégées dans la notation par  $Y_{s,t|m}$ .

L'utilisation de toutes les composantes du modèle de régression est prohibitive sur le plan du calcul. Même avec des paramétrages très simplistes de la structure spatiale et temporelle par le modèle additif généralisé (MAG) ou le modèle additif mixte généralisé (MAMG), les solutions prennent plusieurs jours sur des machines rapides (processeur de 5 GHz, 64 Go de mémoire

vive), selon la quantité de données, la résolution et la complexité du modèle, bien sûr. Comme compromis entre la complexité du modèle et la vitesse de calcul, stmv utilise un modèle de covariable global  $F(\cdot) \equiv \mathbf{x}_{s,t}^T \boldsymbol{\beta}_{s,t}$  qui est paramétré à l'aide d'un modèle linéaire, linéaire généralisé ou additif généralisé. Ici,  $F(\cdot)$  représente quelques splines de base pénalisées potentielles des prédicteurs de covariables et éventuellement une fonction  $g(\cdot)$  qui représente une fonction de liaison, de sorte que l'erreur résiduelle dans l'espace-lien peut être considérée comme normale avec une moyenne de zéro et un écart-type  $\sigma_\varphi$ , ce dernier prenant en compte le processus d'erreur résiduelle  $\varphi_{s,t}$  :

$$\begin{aligned} Y_{s,t} &= \mu_{s,t}, \\ g(\mu_{s,t}) &= F(\cdot) + \varphi_{s,t}, \\ \varphi_{s,t} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_\varphi^2). \end{aligned}$$

La structure spatio-temporelle est décomposée à partir de ce processus d'erreur résiduelle; ainsi, l'approche est assez similaire à celle du « krigeage de régression » et du « krigeage avec dérive externe » (universel) [Hengl *et al.* 2004].

L'échelle d'autocorrélation spatiale locale est dérivée d'un ajustement rapide (grossier) des résidus locaux  $\varphi_{s,t|m}$  à une fonction d'autocorrélation de Matérn. Pour être symétrique dans le temps, il faudrait également déterminer les nœuds temporels et définir des échelles d'autocorrélation temporelle appropriées. Dans la pratique, les données temporelles sont souvent rares et limitées dans les données de relevé, et on utilise donc les données de toutes les périodes. Une fois les limites approximatives du sous-domaine estimées, les  $\varphi_{s,t|m}$  sont modélisées comme une série de Fourier fonctionnelle  $f_m(\cdot) \equiv \varphi_{s,t|m}^T \boldsymbol{\beta}_{s,t|m}$  avec deux harmoniques, une interannuelle et une subannuelle (saisonniers) :  $f_m(\text{interannual, seasonal})$ . En d'autres termes, on n'utilise pas un modèle d'autocorrélation temporelle complète (covariance), mais plutôt un modèle qui utilise seulement un sous-ensemble des composantes à des longueurs d'onde fixes. L'espace des coordonnées spatiales (profondeur, nord et est) est (facultativement) utilisé comme covariable ou lissage de covariables dans un MAG, car il peut être instructif lorsqu'il existe de grandes variations topographiques ou lorsque l'échantillonnage est rare dans le sous-domaine  $f_m(\text{interannual, seasonal, northing, easting, depth})$  :

$$\begin{aligned} \varphi_{s,t|m} &= f_m(\cdot) + \zeta_{s,t|m}, \\ \zeta_{s,t|m} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_{\zeta|m}^2). \end{aligned}$$

Les données sont (facultativement) pondérées par la distance au carré inverse  $h_m^{-2}$  des coordonnées de chaque nœud statistique  $m$  afin de rendre les données plus proches de la zone d'intérêt et d'augmenter l'influence de la prédiction. L'autocorrélation temporelle est donc portée par les processus temporels individuels à chaque donnée spatiale et l'erreur temporelle structurée  $\sigma_{t|m}$  est la composante de variance du modèle  $f_m(\cdot)$ , c'est-à-dire,  $\sigma_{t|m} = \text{Var}[\varphi_{s,t|m}] - \sigma_{\zeta|m}^2$ .

La fonction d'autocorrélation spatiale est paramétrée comme étant dérivée du processus gaussien moyen du sous-domaine avec une fonction de covariance de Matérn avec paramètres  $\theta_m = \{\phi_m, \nu_m\}$  et une erreur-type spatialement structurée variant dans le temps  $\sigma_{s|m}$ . Comme les données utilisées pour estimer la structure d'autocorrélation spatiale sont souvent rares, les données sont complétées par des prédictions temporelles du processus d'erreur résiduelle à chaque donnée spatiale (et désignées par un astérisque pour la notation). Ces processus résiduels augmentés sont modélisés indépendamment pour chaque tranche temporelle  $\varphi_{s,t|m}^*$  comme la somme d'un **processus gaussien** spatial  $\omega_{s,t|m}$  variant dans le temps paramétré

comme une fonction de covariance spatiale de Matérn  $\sigma_{s,t|m}^2 \frac{1}{2^{v_{t|m}-1} \Gamma(v_{t|m})} (\sqrt{2v_{t|m}}h / \phi_{t|m})^{v_{t|m}}$   $K_{v_{t|m}}(\sqrt{2v_{t|m}}h / \phi_{t|m})$  avec une erreur spatiale locale  $\sigma_{s,t|m}$ , et un processus d'erreur non structuré dans l'espace et dans le temps supposé dérivé d'un processus d'erreur normale avec une moyenne de zéro et une erreur  $\sigma_{\varepsilon|m}$  :

$$\begin{aligned} \varphi_{s,t|m}^* &= \omega_{s,t|m} + \varepsilon_{s,t|m}, \\ \omega_{s,t|m} &\sim \text{GP}(0, C(s, s'; \theta_{t|m} = \{v_{t|m}, \phi_{t|m}, \sigma_{t|m}\})), \\ \varepsilon_{s,t|m} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_{\varepsilon|m}^2). \end{aligned}$$

D'autres modèles plus souples et plus complexes peuvent être définis dans ce cadre et seront développés dans un document ultérieur. Ce qui précède représente l'approche de base qui fournit un équilibre pratique entre le temps de calcul ainsi que la complexité et le réalisme du modèle. Une approche entièrement bayésienne est en cours d'élaboration; celle-ci élimine la nécessité de travailler avec la dérive externe.

## L'évaluation du crabe des neiges

Le processus d'estimation du crabe des neiges permet d'interpoler un certain nombre de covariables pour obtenir le même soutien spatial continu lorsqu'elles sont étudiées à l'aide d'autres plans de relevé. Cela est nécessaire pour affiner les prévisions de l'abondance et de l'habitat du crabe des neiges tout en évitant les problèmes de biais dus au crénelage (également connus sous le nom de problèmes d'adaptation à plus grande et plus petite échelle). Certaines de ces covariables changent sur des échelles de temps géologiques par rapport à l'échelle de temps des processus biologiques et écologiques d'intérêt et peuvent donc être considérées fonctionnellement comme un modèle spatial « pur » (bien qu'elles ne soient évidemment pas vraiment statiques). D'autres, de nature plus biologique, varient à des échelles de temps similaires, voire plus courtes, et nécessitent donc une composante temporelle. Nous détaillons ici certaines de ces sources de données de base et leurs hypothèses de modélisation dans le contexte de l'échelle d'autocorrélation temporelle de l'abondance du crabe des neiges dans la région des Maritimes du Canada. Les méthodes sont encodées dans [le progiciel R aegis](#).

La bathymétrie (profondeur;  $m$ ) est une covariable spatiale informative en ce sens qu'elle détermine les niveaux de lumière ambiante, la complexité/rugosité de surface, la stabilité hydrodynamique et la stabilité environnementale globale. Ici, elle est modélisée comme un processus log-normal :

$$\begin{aligned} Y_s &= \mu_s, \\ \log(\mu_s) &= F(\text{constant offset}) + \varphi_s, \\ \varphi_s &\sim \text{Normal}(0, \sigma_\varphi^2), \\ \varphi_{s|m} &= \omega_{s|m} + \varepsilon_{s|m}, \\ \omega_{s|m} &\sim \text{GP}(0, C(s, s'; \theta_m = \{v_m, \phi_m, \sigma_m\})), \\ \varepsilon_{s|m} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_{\varepsilon|m}^2). \end{aligned}$$

Comme il s'agit d'un modèle purement spatial, il n'est pas nécessaire d'« augmenter » les données en laissant une décomposition directe du processus global d'erreur résiduelle  $\varphi_{s|m}$  en un processus spatial local  $\omega_{s|m}$  et une erreur locale non structurée  $\varepsilon_{s|m}$ .

De même, la granulométrie du substrat (mm) est un modèle spatial pur, qui est une mesure approximative du type de substrat (boue, sable, gravier, roche, etc.) et donc instructif pour

l'habitat benthique, démersal et endofaunique. Elle est également modélisée comme un processus log-normal :

$$\begin{aligned}
 Y_s &= \mu_s, \\
 \log(\mu_s) &= F(\text{depth, slope, curvature}) + \varphi_s, \\
 \varphi_s &\sim \text{Normal}(0, \sigma_\varphi^2), \\
 \varphi_{s|m} &= \omega_{s|m} + \varepsilon_{s|m}, \\
 \omega_{s|m} &\sim \text{GP}(0, C(s, s'; \theta_m = \{\nu_m, \phi_m, \sigma_m\})), \\
 \varepsilon_{s|m} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_{\varepsilon|m}^2).
 \end{aligned}$$

La température est d'une importance fondamentale pour le métabolisme, la croissance, la reproduction, la distribution et l'abondance des prédateurs et des proies et l'incidence des maladies. Les températures au fond, en particulier, font l'objet d'une attention particulière en raison de leur pertinence pour les organismes benthiques et démersaux et sont modélisées comme un processus spatio-temporel hiérarchique « inséparable ». Comme leurs variations ont des variations à haute fréquence, la modélisation de leurs variations spatio-temporelles nécessite une certaine complexité supplémentaire. Ici, les effets temporels sont imbriqués dans des sous-domaines spatiaux  $S_m$ . Le modèle covariable global est simplement un modèle d'interception avec un lien d'identité centré sur zéro  $\varphi_{s,t}$ . Il est concevable que des données sur la salinité ou la densité de l'eau puissent entrer pour délimiter les masses d'eau et leurs origines; cependant, ces données n'existent pas à une densité et une couverture suffisantes pour être suffisamment informatives pour justifier la charge de calcul supplémentaire (pour le moment). Au lieu de cela, les erreurs résiduelles sont modélisées localement dans chaque sous-domaine sous la forme d'une série chronologique pondérée avec deux harmoniques de Fourier dans le temps (une composante interannuelle et une composante subannuelle/saisonnnière). Les poids sont déterminés à partir de la distance au carré inverse de chaque nœud statistique  $h_m$ . On utilise d'autres termes lisses à fonction spline des plans affinés pour la profondeur et la position locales en vue de résoudre les tendances spatiales locales et le crénelage au troisième ordre ou moins (par retrait). Les prédictions temporelles à chaque donnée spatiale sont ensuite utilisées pour « augmenter » la modélisation des processus spatiaux  $\varphi_{s,t|m}^*$ , qui sont traités indépendamment pour chaque tranche de temps comme un **processus gaussien**. L'autocorrélation temporelle n'est donc portée qu'indirectement par les processus temporels individuels centrés sur chaque donnée spatiale. Pour des calculs plus rapides, une méthode de convolution basée sur la transformation de Fourier rapide est utilisée pour approximer le processus spatial gaussien. La spécification du modèle est donc :

$$\begin{aligned}
 Y_{s,t} &= \mu_{s,t}, \\
 \mu_{s,t} &= F(\text{identity}) + \varphi_{s,t}, \\
 \varphi_{s,t} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_\varphi^2), \\
 \varphi_{s,t|m} &= f_m(\text{interannual, seasonal, northing, easting, depth}) + \zeta_{s,t|m}, \\
 \zeta_{s,t|m} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_{\zeta|m}^2), \\
 \varphi_{s,t|m}^* &= \omega_{s,t|m} + \varepsilon_{s,t|m}, \\
 \omega_{s,t|m} &\sim \text{GP}(0, C(s, s'; \theta_{t|m} = \{\nu_{t|m}, \phi_{t|m}, \sigma_{t|m}\})), \\
 \varepsilon_{s,t|m} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_{\varepsilon|m}^2).
 \end{aligned}$$

D'autres covariables qui expriment l'état de l'écosystème à un moment et à un endroit donnés (« indicateurs ») sont instructives pour délimiter les processus spatio-temporels qui sont structurés à partir de ceux qui sont aléatoires. La formulation de leur modèle est similaire, en ce sens qu'ils suivent une structure de modèle similaire avec des effets temporels imbriqués dans des sous-domaines spatiaux et l'utilisation de fonctions de lien dans un modèle linéaire

généralisé/modèle additif généralisé où les covariables utilisées pour modéliser ces indicateurs reposent sur des prévisions spatiales de la profondeur et de la granulométrie du substrat ainsi que sur les dérivés spatiaux du premier (pente et courbe). Le processus d'erreur spatio-temporelle est modélisé localement dans chaque sous-domaine comme un modèle spatio-temporel « inséparable », en utilisant des covariables temporelles liées aux variations de température du fond et aux statistiques associées :

$$\begin{aligned}
Y_{s,t} &= \mu_{s,t} \\
g(\mu_{s,t}) &= F(\text{depth, slope, curvature, substrate grainsize}) + \varphi_{s,t} \\
\varphi_{s,t} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_{\varphi}^2), \\
\varphi_{s,t|m} &= f_m(\text{interannual, seasonal, northing, easting, depth}) + \zeta_{s,t|m} \\
\zeta_{s,t|m} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_{\zeta|m}^2), \\
\varphi_{s,t|m}^* &= \omega_{s,t|m} + \varepsilon_{s,t|m}, \\
\omega_{s,t|m} &\sim \text{GP}(0, C(s, s'; \theta_{t|m} = \{v_{t|m}, \phi_{t|m}, \sigma_{t|m}\})), \\
\varepsilon_{s,t|m} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_{\varepsilon|m}^2).
\end{aligned}$$

Pour l'estimation des préférences en matière d'habitat et la création de cartes de répartition de l'espèce qui reposent sur des données de présence-absence. Les données  $Y$  sont supposées provenir d'un processus binomial de Bernoulli avec une fonction de liaison logit  $g(\cdot)$  :

$$\begin{aligned}
Y_{s,t} &= \mu_{s,t} \\
\text{logit}(\mu_{s,t}) &= F(\text{depth, slope, curvature, substrate grainsize}) + \varphi_{s,t} \\
\varphi_{s,t} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_{\varphi}^2), \\
\varphi_{s,t|m} &= f_m(\text{ecosystem indicators}) + \zeta_{s,t|m} \\
\zeta_{s,t|m} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_{\zeta|m}^2), \\
\varphi_{s,t|m}^* &= \omega_{s,t|m} + \varepsilon_{s,t|m}, \\
\omega_{s,t|m} &\sim \text{GP}(0, C(s, s'; \theta_{t|m} = \{v_{t|m}, \phi_{t|m}, \sigma_{t|m}\})), \\
\varepsilon_{s,t|m} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_{\varepsilon|m}^2).
\end{aligned}$$

Pour l'estimation de l'abondance, on suppose que les données à valeur positive  $Y$  proviennent d'un processus log-normal :

$$\begin{aligned}
Y_{s,t} &= \mu_{s,t} \\
\log(\mu_{s,t}) &= F(\text{depth, slope, curvature, substrate grainsize}) + \varphi_{s,t} \\
\varphi_{s,t} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_{\varphi}^2), \\
\varphi_{s,t|m} &= f_m(\text{ecosystem indicators}) + \zeta_{s,t|m} \\
\zeta_{s,t|m} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_{\zeta|m}^2), \\
\varphi_{s,t|m}^* &= \omega_{s,t|m} + \varepsilon_{s,t|m}, \\
\omega_{s,t|m} &\sim \text{GP}(0, C(s, s'; \theta_{t|m} = \{v_{t|m}, \phi_{t|m}, \sigma_{t|m}\})), \\
\varepsilon_{s,t|m} &\sim \text{Normal}(0, \sigma_{\varepsilon|m}^2).
\end{aligned}$$

## Citations

- Banerjee, S., Carlin, B. P., and Gelfand, A. E. 2004. Hierarchical Modeling and Analysis for Spatial Data. Monographs on Statistics and Applied Probability. Chapman and Hall/CRC.
- Fotheringham, A.S., Brunson, C., and Charlton, M.E. 2002. Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships. Wiley, Chichester.

- 
- Hengl, T., Heuvelink, G.B.M., and Stein, A. 2004. A Generic Framework for Spatial Prediction of Soil Variables Based on Regression-kriging. *Geoderma* 120: 75–93.
- Huang, H.-C., and Hsu, N.-J. 2004. Modeling Transport Effects on Ground-level Ozone Using a Non-stationary Space-time Model. *Environmetrics* 15(3): 251–268.
- Lindgren, F., Rue, H., and Lindstrom, J. 2011. An Explicit Link Between Gaussian Fields and Gaussian Markov Random Fields: The Stochastic Partial Differential Equation Approach. *J. Royal Stat. Soc.: Series B (Statistical Methodology)* 73: 423–498.
- Sigrist, F., Künsch, H.R., and Stahel, W.A. 2012. A Dynamic Nonstationary Spatio-temporal Model for Short Term Prediction of Precipitation. *Ann. Appl. Statist.* 6: 1452–1477.
- Sølna, K., and Switzer, P. 1996. Time Trend Estimation for a Geographic Region. *J. Am. Stat. Assoc.* 91: 577–589.
- Wikle, C.K., and Cressie, N. 1999. A Dimension-reduced Approach to Space-time Kalman Filtering. *Biometrika* 86: 815–829.
- Xu, K., Wikle, C.K., and Fox, N.I. 2005. A Kernel-based Spatio-temporal Dynamical Model for Nowcasting Weather Radar Reflectivities. *J. Am. Stat. Assoc.* 100: 1133–1144.

---

## ANNEXE 2 : CONTEXTE DE L'APPROCHE DE PRÉCAUTION

Dans le cadre de la gestion des ressources naturelles, l'approche de précaution désigne l'importance accordée à la prise de décisions éclairées en tenant compte des incertitudes et en évitant les risques. Cela s'explique par le fait que les écosystèmes naturels sont intrinsèquement complexes et que des imprévus peuvent se produire et se produisent en fait souvent (p. ex. Choi et Patten 2001). L'origine de l'approche de précaution n'est pas claire, mais son précurseur se trouve dans le livre de 1962 de Rachel Carson (*Silent Spring*) qui a soulevé des préoccupations au sujet de l'utilisation généralisée des pesticides synthétiques, ce qui s'est soldé par l'abolition du DDT dans de nombreuses parties du monde prospère. La Déclaration de Stockholm de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement de 1972 a été la première loi internationale sur l'environnement et reconnaissait le droit à un environnement sain (UNCHE 1972). Elle a été élevée un cran plus haut par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (WCED 1987), ou le rapport de la Commission Brundtland, notre avenir à tous) qui a mis en évidence la nécessité de développement durable. Par la suite, une autre conférence a été entreprise à Rio de Janeiro, au Brésil (1992), qui a tenté d'établir des ententes internationales afin de protéger l'intégrité de l'environnement tout en reconnaissant la souveraineté des États et, par conséquent, la responsabilité de l'État quant à la prestation de ressources équitables pour les générations actuelles et futures. Le développement durable, la participation du public au processus de prise de décision (tout particulièrement les jeunes, les populations autochtones et les femmes), les études d'impact sur l'environnement et la gestion de celui-ci, en particulier de la pollution, et la dégradation de l'environnement, en particulier lorsqu'il est nocif pour la santé humaine, ont été les principaux points d'accord.

De nombreux autres accords internationaux ont été conclus et ont réaffirmé ces positions : la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (UNCLOS 1982), qui a reconnu la compétence territoriale avec un accent sur la pollution dans la zone économique exclusive; le Code de conduite pour une pêche responsable de la FAO (1995), qui met l'accent sur la conservation et l'approche de précaution en favorisant des engins de pêche sélective et des méthodes de pêche responsable; l'Accord des Nations Unies sur la pêche (UNFA 2001), qui porte sur les stocks de poissons chevauchants et grands migrateurs; la Convention des Nations Unies sur la diversité biologique, qui a défini une gestion écosystémique en tant que responsabilité à l'échelle mondiale; le Sommet mondial sur le développement durable (WSSD 2002) à Johannesburg, pendant lequel on a réaffirmé l'accord commun visant à « maintenir ou rétablir les stocks à un niveau permettant d'obtenir un rendement maximal durable, le but étant d'atteindre d'urgence cet objectif pour les stocks épuisés, et si possible en 2015 au plus tard ».

Le Canada, à titre de signataire de ces accords internationaux, a l'obligation légale de gérer les ressources naturelles à l'aide d'une approche de précaution. En fin de compte, une approche de précaution vise à ne pas mettre en péril la durabilité à long terme de la ressource en question et l'écosystème dans lequel elle est intégrée. Heureusement, la promotion de la durabilité à long terme des ressources naturelles dans un contexte de pêche a également pour conséquence directe de favoriser la prise par unité d'effort (CPUE) la plus importante et les avantages socioéconomiques connexes d'une pêche efficace et vigoureuse. Favoriser la durabilité biologique et écologique à long terme peut, par conséquent, favoriser la durabilité socioéconomique à long terme de l'industrie dépendante.

### Durabilité

La mise en œuvre d'une approche de précaution à la gestion des ressources nécessite de bien tenir compte de toutes les sources de renseignements relatives à la durabilité de la ressource en question et de l'écosystème dans lequel elle est intégrée : les renseignements scientifiques

---

et traditionnels, et les incertitudes connexes. Une autre exigence consiste à définir un mécanisme transparent pour synthétiser ces renseignements et pour mesurer la durabilité de la ressource. Cette dernière est requise afin de fournir de la rétroaction sur la réussite ou l'absence de mesures de gestion précises. Pour répondre à cette exigence, le DFO (2006) a proposé l'utilisation de la biomasse du stock reproducteur comme mesure de la « durabilité ». Des niveaux élevés de biomasse du stock reproducteur étaient considérés comme « sains » et de faibles niveaux, comme « malsains ». De même, dans la pêche du crabe des neiges, l'accent est mis naturellement sur la composante exploitable : la « biomasse exploitable ». Si l'abondance relative de la biomasse exploitable est élevée, la majorité des pêcheurs, des gestionnaires des pêches et des scientifiques halieutistes considéreraient que celle-ci serait dans un état plus « durable », et vice-versa.

Malheureusement, ce point de vue est problématique. Une abondance élevée peut provoquer une déstabilisation et un effondrement d'une population en raison d'un surpeuplement, de la dégradation de l'habitat, de maladies et d'autres mécanismes dépendants de la densité. On peut citer comme exemples des chevreuils sur des îles aux prises à une surpopulation qui se nourrissaient jusqu'à leur extinction; des hommes sur l'île de Pâques qui ont coupé trop d'arbres, ce qui a entraîné des effondrements démographiques, sociétaux et écologiques; ou, la surdominance d'une espèce (monocultures dans les exploitations et les forêts) qui entraîne des épidémies de maladies ou d'incendies qui provoquent l'effondrement à grande échelle (Diamond 2005). Une forte abondance ne veut pas forcément dire une grande durabilité. Le problème ne dépend pas du paramètre, mais plutôt de l'accent sur l'utilisation d'un seul indicateur. La durabilité est un concept multidimensionnel qui repose sur la fiabilité accordée à un ensemble plus large de critères qui décrit l'état de la ressource et les relations entre la ressource centrale et l'écosystème environnant (Choi et Patten 2001).

Par exemple, une population de crabes des neiges durable nécessite *au moins* les éléments suivants : des niveaux stables et positifs de la production d'œufs, le recrutement et des niveaux comparables et stables de mortalité naturelle, et la structure et la fonction de l'écosystème. La « mortalité naturelle » et son opposé, le « recrutement », sont des termes fourre-tout qui sont en fait assez complexes. Ils incluent la structure d'âge et de taille, le sex-ratio, la diversité génétique et les nombreuses interactions au niveau de l'écosystème (p. ex. la variabilité de l'habitat, la disponibilité des ressources, la prédation, les charges de contaminants, la prévalence de maladies, les mélanges et la régénération des nutriments, le flux de carbone, le contrôle des espèces envahissantes). Tout changement rapide dans un ou plusieurs de ces facteurs déterminants potentiels de la durabilité peut nuire à la durabilité à long terme du crabe des neiges. Puisque tous ces facteurs varient dans le temps et dans l'espace, on fait très attention à ces déterminants potentiels de durabilité de la population et de l'écosystème lors de l'évaluation du stock de crabes des neiges de l'EPN.

Les principaux outils de gestion des pêches sont le contrôle des prises et l'effort de pêche. En général, en réduisant les prises et l'effort de pêche, on devrait améliorer l'état des stocks ou le contexte de l'écosystème. Cependant, l'absence de rétablissement de la morue depuis le moratoire sur la morue au début des années 1990 dans le Canada atlantique laisse à penser que, même cette attente « universelle » de contrôle des pêches est plus une croyance que la réalité. Une approche de gestion moins risquée semblerait donc être une approche prudente. Pour la pêche du crabe des neiges, la nécessité d'une précaution supplémentaire est encore plus importante, car le plateau néo-écossais représente l'extrême limite méridionale de la répartition spatiale du crabe des neiges. Si des fluctuations environnementales se produisent dans les courants océaniques et les températures au fond, il s'agit de la zone qui devrait être la plus touchée par de tels changements.

---

En fin de compte, une population qui est « durable » est une population qui est en mesure de maintenir l'équilibre entre les diverses demandes conflictuelles fixées par l'écosystème dans lequel elle vit, en plus des humains qui l'influencent ou l'exploitent. Le maintien de cet équilibre fonctionne à de nombreuses échelles spatiales et temporelles et, par conséquent, requiert de l'adaptabilité (long terme – processus d'évolution) et de la résilience (court terme – processus écologiques et dynamiques de la population). Pour augmenter les chances que les pratiques de pêche et les mesures de gestion entraînent une exploitation durable des ressources, l'influence des pêches doit simplement être suffisamment petite pour que la capacité de la population à maintenir cet équilibre (faculté d'adaptation et résilience) ne soit pas ouvertement dérangée ou détériorée. Pour ce faire, il faut que l'empreinte de la pêche (p. ex. l'ampleur de son influence sur cette capacité) soit faible par rapport à l'empreinte biologique de la population (c.-à-d. l'ampleur de la production d'œufs, le recrutement, la mortalité « naturelle » et de nombreux autres processus écosystémiques).

Chose importante, puisque l'empreinte d'une pêche est en soi dépendante du contexte (c.-à-d. population et écosystème), l'utilisation de points de référence limites biologiques fixes d'un seul indicateur n'est pas du tout conforme à cette approche, car ils ne sont pas sensibles aux altérations d'origine humaine ou naturelle dans le contexte de l'écosystème. Déterminer les seuils appropriés et les mesures d'atténuation/réactives pour chaque caractéristique de l'écosystème est aussi indéfendable en raison de la superficie et de la complexité de l'EPN, ainsi que de la longévité du crabe des neiges. Cependant, on évalue des indicateurs pertinents pour détecter au moins les modifications rapides. Cette information est utilisée de façon qualitative et quantitative afin de fournir le contexte dans lequel l'empreinte de la pêche du crabe des neiges est évaluée. L'ampleur de l'empreinte de la pêche est réduite de façon dynamique lorsqu'une plus grande incertitude est associée à ce contexte (la variabilité de l'environnement, les irrégularités dans la structure d'âge et de taille, etc.). Par exemple, si le recrutement est faible ou les conditions environnementales erratiques, alors une approche plus prudente (taux d'exploitation plus bas) est adoptée. En outre, toute l'information scientifique est présentée et fait l'objet de délibérations de manière ouverte et transparente avec les scientifiques, les gestionnaires, les pêcheurs, les groupes autochtones et les différents intervenants, conformément à l'accord de Rio (UNCED 1992).

### **Points de référence**

De nombreuses mesures de gestion et pratiques de pêche préexistantes dans la pêche du crabe des neiges dans l'est de la Nouvelle-Écosse sont fondées sur le principe de précaution.

- Le potentiel de reproduction de la biomasse du stock reproducteur n'est pas perturbé, car seuls les mâles matures sont exploités. La pêche ne cible pas les femelles.
- Les mâles matures sont exploités surtout après la saison d'accouplement (printemps), ce qui réduit les possibilités de limitation du sperme et le potentiel de sélection génétique pour une maturation précoce (c.-à-d. à des tailles plus petites).
- On a généralement préconisé des stratégies d'exploitation prudentes, surtout au cours des dernières années. Les taux de récolte sont parmi les plus bas dans l'Atlantique Nord-Ouest, habituellement entre 10 et 30 % de la biomasse exploitable. Cette précaution est justifiée, car ce stock est à la limite méridionale de la répartition spatiale du crabe des neiges dans l'Atlantique Ouest. En cas de fluctuations des facteurs environnementaux tels que les courants océaniques et les températures au fond, cette zone pourrait être influencée de manière importante. De plus, l'effondrement persistant des stocks de poissons de fond dans la zone laisse entendre que les espèces dans cette zone peuvent être vulnérables à l'effondrement et, par la suite, à une existence dans un état d'effondrement.

- 
- Il existe des refuges à l'abri des pressions de la pêche ciblée dans la ZPM du Gully, dans la ZPM du banc de Sainte-Anne, le long de la pente continentale et dans une grande partie du secteur côtier ouest de la ZPC 24. On a observé des déplacements dans toutes les sous-zones avec une distance moyenne parcourue de 10 à 20 km/année, avec une grande variabilité (> 200 km/année maximum).
  - Les mâles matures de taille non réglementaire ( $LC < 95$  mm) et les mâles immatures peuvent s'accoupler. Par conséquent, même si l'abondance des mâles matures exploitables sur le plan commercial était gravement décimée, cela ne serait pas un enjeu de conservation. Cela est particulièrement le cas puisque les crabes femelles ne sont pas pêchées.
  - On ne pêche pas les crabes immatures à carapace molle (venant de muer et pouvant être facilement endommagés), et le taux de mortalité par manipulation est réduit grâce à la fermeture volontaire de zones et à la surveillance par des observateurs en mer en ce qui concerne la présence de crabes à carapace molle, permettant ainsi de maximiser le rendement potentiel par animal par rapport à la biomasse.
  - La Direction des sciences du MPO intègre les connaissances traditionnelles et des pêcheurs dans les approches d'évaluation, ce qui favorise les connaissances, les perspectives de durabilité à long terme et l'intendance de l'industrie. Cet objectif est atteint grâce à des consultations et des communications ouvertes et transparentes entre tous les intervenants (pêcheurs, groupes autochtones, organisations non gouvernementales, gestionnaires et scientifiques).
  - Cette pêche est surveillée grâce à une vérification à quai de 100 %, à la présence d'observateurs en mer (de 5 à 10 % des débarquements) et à l'utilisation du système de surveillance des navires obligatoire dans la majorité des zones.

Une fois de plus, le principal objectif des mesures et des pratiques de gestion ci-dessus est de tenter d'équilibrer les processus de stabilité à long terme (adaptabilité) et à court terme (résilience) [voir Choi et Patten 2001] afin de maintenir la durabilité de la population de crabes des neiges dans son ensemble et de la pêche qui en dépend. Cela est donc conforme à l'approche de précaution de façon explicite.

Même avec ces mesures, il faut connaître les points de référence biologiques pour la part ciblée de la population (mâles matures dont la  $LC \geq 95$  mm) pour orienter les conseils sur les totaux autorisés des captures annuels et les mesures de gestion connexes. Il n'y a pas de « bon » ou de « meilleur » choix de points de référence, surtout compte tenu du fait que la capacité de charge sous-jacente est assez variable au fil du temps, que le recrutement est épisodique et que la biomasse du stock reproducteur demeure protégée. Autrement dit, la population de crabes des neiges dans les divisions 4VWX n'est pas à l'état d'équilibre ni près de l'être. Par conséquent, les estimations de paramètres du modèle logistique fournissent seulement des estimations de premier ordre des véritables points de référence biologiques (se reporter à la section Méthodes).

---

## ANNEXE 3 : MODÈLE D'ÉVALUATION DES STOCKS

Un modèle logistique distinct modifié de la composante de la biomasse exploitable est utilisé pour déterminer les points de référence biologiques pertinents (c.-à-d. la capacité de charge et  $F_{RMD}$ ) associés aux règles de contrôle des prises pour la pêche du crabe des neiges. Dans la documentation sur les pêches, ce modèle est communément appelé modèle de la dynamique de la production excédentaire ou de la biomasse. L'utilisation d'un modèle logistique discret se justifie par le fait qu'il nécessite un minimum de données :

- la détermination de l'âge n'est actuellement pas possible pour les crustacés;
- la complexité du cycle de vie entraîne une grande variabilité des courbes de maturité, des trajectoires de croissance individuelles et des variations spatiales et temporelles de la structure selon la taille et le sexe;
- une relation stock-recrutement fiable n'a pas été démontrée/établie.

Le fait que la composante exploitable (gros mâles) n'est pas la même que la biomasse du stock reproducteur (femelles reproductrices) s'oppose à l'utilisation de tout modèle de pêche standard (y compris le modèle logistique distinct). En raison des différences liées au sexe en ce qui concerne la longévité, la taille et la croissance, les courbes de maturité, l'utilisation de l'habitat, le risque de prédation et l'exploitation par la pêche, un tel modèle nécessiterait un grand nombre d'hypothèses pour convertir la biomasse du stock reproducteur en composante exploitable.

Plutôt que de tenter de faire de telles hypothèses potentiellement insoutenables, nous suivons plutôt la formulation plus générale du modèle logistique comme une approximation tronquée des séries de Taylor de certaines séries chronologiques limitées. Pour toute variable générale d'état,  $B$  (p. ex. biomasse exploitable), son taux de variation dans le temps est, en général, une fonction  $F$  en soi et une variété d'autres paramètres  $\theta$  :

$$dB / dt = F(B; \theta)$$

Si nous procédons à une expansion de la série de Taylor de  $F(B = B^*; \theta)$  à une certaine valeur  $B^*$  :

$$F(B; \theta) = c_1 B + c_2 B^2 + c_3 B^3 + \dots;$$

où  $c$  sont des constantes. Et seuls les polynômes d'ordre 2 et inférieurs sont retenus :

$$F(B; \theta) \approx c_1 B + c_2 B^2$$

Et si nous établissons  $c_1 = r$  et  $c_2 = -r/K$  et simplifions, nous obtenons la forme de base du modèle logistique classique :

$$F(B; \theta) \approx rB(1 - B/K)$$

Avec la normalisation par  $K$ , cela simplifie encore plus :

$$F(B; \theta) \approx rb(1 - b)$$

Qui, sous une forme discrète, devient :

$$b_t - b_{t-1} \approx r b_{t-1} (1 - b_{t-1})$$

Les prélèvements effectués par une pêcherie dans la composante exploitable sont généralement exprimés sous la forme d'un terme additif,  $c$ , la prise normalisée  $K$  :

$$\begin{aligned} b_t - b_{t-1} &\approx r b_{t-1} (1 - b_{t-1}) - c_{t-1} \\ b_t &\approx b_{t-1} + r b_{t-1} (1 - b_{t-1}) - c_{t-1} \end{aligned}$$

Le taux d'accroissement intrinsèque,  $r$ , est donc une fonction  $\mathbf{G}$  de la croissance, du recrutement, de la mortalité naturelle, de la mortalité due à la manipulation et des prises accessoires, etc., mais à l'exclusion des prises de la pêche,  $c$  :

$$r = \mathbf{G} (\text{croissance, recrutement, mortalité})$$

Généralement,  $r$  et  $K$  sont des constantes supposées. Ces quantités ne sont toutefois pas constantes, surtout compte tenu des changements systémiques de l'EPN associés à l'effondrement du poisson de fond au milieu des années 1990 et de la nature ponctuée de sa dynamique temporelle. Nous reviendrons sur cette question plus loin.

Des méthodes non linéaires bayésiennes d'espace d'état ont été utilisées pour estimer les paramètres de ce modèle,  $\theta$ . Cela est dû à sa plus grande stabilité numérique, à sa capacité de propager de façon réaliste des erreurs crédibles, à sa capacité d'estimer des états non observés (biomasse exploitable « réelle ») et à sa capacité d'estimer simultanément les erreurs de « traitement » du modèle et les erreurs d'« observation » des données. Les erreurs de processus ( $\rho\sigma^2$ ) sont les incertitudes qui se répercutent dans les états futurs par propagation d'erreurs : par exemple, au moyen de la forme récursive de l'équation logistique (c'est-à-dire les erreurs dans  $b_{t+1}$  dans l'espace d'état de  $b_t$  vs  $b_{t+1}$ ). Les erreurs d'observation ( $\sigma^2$ ) renvoient aux incertitudes entourant la mesure et l'observation (c.-à-d. les erreurs relatives aux mesures ou aux données des deux variables dans l'espace d'état de  $b_t$  vs  $b_{t+1}$ ). Cette dernière capacité est particulièrement importante, car les estimations et les prévisions des paramètres fondées sur les seules erreurs d'observation fournissent des bornes d'erreur exagérément optimistes (petites et constantes), et les estimations et les prévisions des paramètres fondées sur les seules erreurs de traitement s'étendent rapidement dans l'avenir, se traduisant par des bornes d'erreur potentiellement exagérément pessimistes (grandes et habituellement croissantes).

Les principales hypothèses de répartition du modèle de la biomasse exploitable sont les suivantes. Le lecteur est prié de se reporter au code ci-dessous pour connaître les hypothèses de répartition et les dérivations de chacun des antécédents particuliers.

Comme la biomasse exploitable du crabe des neiges suit une distribution log-normale, on a supposé un modèle d'erreur d'observation multiplicatif, avec une variance  $\sigma^2_{t,o}$ . On a supposé que l'indice de la biomasse exploitable observé  $O_t$  était linéairement lié à la « vraie » biomasse exploitable non observée par une constante de proportionnalité  $q$  telle que  $O_t = q K b_t$  pour chacune des trois ZPC distinctes, notées par  $a$  :

$$O_{t,a} \sim \text{Log-normal} (\log[q_a K_a b_{t,a}], \sigma^2_{a})$$

Le «  $\sim$  » indique « est distribué comme », qui dans ce cas est une distribution log-normale avec une moyenne de  $\log(q_a K_a b_{t,a})$  et de variance  $\sigma^2_a$ . On a supposé que le précédent sur l'erreur d'observation,  $\sigma^2_a$ , était minimalement informatif et diffus, suivant une distribution de demi-Cauchy avec centre de masse dans l'intervalle (0,1), paramétré avec un emplacement 0 et une échelle de 0,5.

La capturabilité,  $q$ , est un facteur qui, de manière simpliste, quantifie l'influence d'un certain nombre de biais différents, y compris les engins de relevé, les protocoles de relevé, les protocoles d'expansion aréale, la stratification du relevé et la modélisation statistique, etc. C'est trop simpliste, car de tels biais ne sont pas constants dans le temps et dans l'espace. Toutefois, ici, il sert d'estimation de commande de premier ordre desdites influences. Historiquement, on a supposé qu'il était de 1 en raison de la nature du plan d'échantillonnage et de la méthode d'analyse. Aux fins de la modélisation, il est divisé en deux composantes pour chacun des relevés du printemps (avant 2004) et de l'été (après 2004) avec un précédent gaussien ayant une moyenne de 1 et un écart-type de 0,25 :

$$q_a \sim \text{Normal}(1, 0,25)$$

On a supposé que l'erreur de traitement suivait une distribution log-normale (multiplicative) avec variance  $\rho\sigma^2$  dont le précédent était similaire à l'erreur d'observation, supposée suivre une distribution de demi-Cauchy avec centre de masse dans l'intervalle (0,1), paramétrée avec un emplacement 0 et une échelle de 0,5.

On a supposé que les prises normalisées,  $c$ , étaient connues sans erreur :

$$b_{t,a} \sim \text{Log-normal}(\log[b_{t-1,a} + r_{t-1,a} b_{t-1,a} (1 - b_{t-1,a}) - c_{t-1,a}], \rho\sigma_a^2)$$

et une biomasse de départ qui suivait une distribution bêta s'est déplacée vers la droite :

$$b_{0,a} \sim \text{Beta}(8, 2).$$

On a supposé que la capacité de charge suivait une distribution log-normale :

$$K_a \sim \text{Log-normal}(\kappa\mu_a, \kappa\sigma_a^2)$$

Où les valeurs  $\kappa\mu_a$  et  $\kappa\sigma_a^2$  propres à la zone ont été choisies en fonction de la connaissance préalable de la production dans la région et ont été fixées aux moyennes  $\ln(1,83)$ ,  $\ln(4,17)$  et  $\ln(0,78)$  pour le nord-est de la Nouvelle-Écosse, le sud-est de la Nouvelle-Écosse et la ZPC 4X, respectivement, et aux écarts-types correspondant à un coefficient de variation de 25 %. On a supposé que le taux d'augmentation intrinsèque était stationnaire, avec un taux d'augmentation antérieur de

$$r_a \sim \text{Normal}(0,96,0,25)$$

Ces données a priori étaient peu informatives. En ce qui concerne la capacité de charge, on a supposé que la distribution était limitée à l'intérieur des maxima historiques estimés précédemment. Pour le taux d'augmentation intrinsèque, la distribution a été choisie pour être centrée sur  $\sim 1$ . Cette estimation est basée sur des estimations approximatives de  $r\mu \approx 1$  pour des crabes de longévité et de taille similaires, *Cancer pagurus* en Europe (Laurans et Smith 2007). La distribution postérieure des paramètres d'intérêt,  $\theta$ , conditionnée par les données, a été estimée par échantillonnage au moyen de la méthode de Monte-Carlo par chaîne de Markov (NUTS) en utilisant le plateau STAN (Stan Development Team 2015). On a suivi quatre chaînes de Markov pour assurer la convergence et le mélange; 2 000 simulations dans la phase de rodage ont été suffisantes pour assurer cette convergence des chaînes de Markov. De plus, on a utilisé 8 000 autres simulations pour décrire les distributions postérieures des paramètres.

Le modèle de Stan utilisé pour l'estimation des paramètres est le suivant :

```
data {
  int<lower=0> N; // no. years
  int<lower=0> U; // no. regions
  int<lower=0> M; // no. years to project
  int ty;
  real er;
  real eps;
  vector[U] Ksd;
  vector[U] rsd;
  vector[U] qsd;
  vector[U] Kmu;
  vector[U] rmu;
  vector[U] qmu;
  matrix[N,U] CAT;
  matrix[N,U] IOA;
  matrix[N,U] missing;
  int missing_n[U];
  int missing_ntot;
}
```

---

```

transformed data {
  int MN;
  int N1;
  MN = M+N;
  N1 = N+1;
}

parameters {
  vector <lower=eps>[U] K;
  vector <lower=eps,upper=3>[U] r;
  vector <lower=eps,upper=2>[U] q;
  vector <lower=eps,upper=2>[U] qs;
  vector <lower=eps,upper=(1-eps)>[U] bosd; // observation error
  vector <lower=eps,upper=(1-eps)>[U] bpsd; // process error
  vector <lower=eps,upper=(1-eps)>[U] b0;
  vector <lower=eps>[missing_ntot] IOAmissing;
  matrix <lower=eps>[M+N,U] bm;
}

transformed parameters {
  matrix[N,U] Y; // index of abundance
  matrix[N,U] Ymu; // collator used to force positive values for lognormal
  matrix[MN,U] bmmu; // collator used to force positive values for lognormal
  matrix[MN,U] rem; // observed catch

  // copy parameters to a new variable (Y) with imputed missing values
  {
    int ii;
    ii = 0;
    for (j in 1:U) {
      for (i in 1:N) {
        Y[i,j] = IOA[i,j];
        if ( missing[i,j] == 1 ) {
          ii = ii+1;
          Y[i,j] = IOAmissing[ii];
        }
      }
    }
  }

  // -----
  // removals (catch) observation model, standardized to K (assuming no errors in observation of
catch!)
  for (j in 1:U) {
    rem[1:N,j] = CAT[1:N,j]/K[j];
    rem[(N+1):MN,j] = er*bm[ N:(MN-1),j]; // forecasts
  }

  // -----
  // observation model calcs and constraints:
  // Ymu = 'surveyed/observed' residual biomass at time of survey (Bsurveyed)
  // cfanorth(1) and cfasouth(2)
  // This is slightly complicated because a fall / spring survey correction is required:
  // B represents the total fishable biomass available in fishing year y
  // in fall surveys: Btot(t) = Bsurveyed(t) + removals(t)
  // in spring surveys: Btot(t) = Bsurveyed(t) + removals(t-1)
  // spring surveys from 1998 to 2003
  // this is conceptualized in the following time line:
  // '|' == start/end of each new fishing year
  // Sf = Survey in fall
  // Ss = Survey in spring
  // |... (t-2)...|.Ss..(t-1)...|... (t=2004)..Sf..|... (t+1)..Sf..|... (t+2)..Sf..|...
  // Cfa 4X -- fall/winter fishery
  // assume similar to a spring fishery but no need for separate q's
  // Btot(t) = Bsurveyed(t)+ removals(t-1)
  // NOTE: year designation in 4X is for the terminal year: ie. 2001-2002 => 2002

  for (j in 1:2) {

```

---

---

```

    Ymu[1,j]      = qs[j] * bm[1,j] - rem[1,j]; // starting year approximation
    Ymu[2:(ty-1),j] = qs[j] * bm[2:(ty-1),j] - rem[1:(ty-2),j]; //spring surveys
    Ymu[ty,j]     = q[j] * bm[ty,j] - (rem[(ty-1),j] + rem[ty,j] )/2.0; // transition year ..
approximation
    Ymu[(ty+1):N,j] = q[j] * bm[(ty+1):N,j] - rem[(ty+1):N,j]; // fall surveys
  }
  {
    int k;
    k=3;
    Ymu[1,k]      = qs[k] * bm[1,k] - rem[1,k]; // starting year approximation
    Ymu[2:(ty-1),k] = qs[k] * bm[2:(ty-1),k] - rem[1:(ty-2),k];
    Ymu[ty:N,k]   = q[k] * bm[ty:N,k] - rem[(ty-1):(N-1),k];
  }

  for (j in 1:U) {
    for (i in 1:N) {
      Ymu[i,j] = K[j] * fmax( Ymu[i,j], eps); // force positive value
    }
  }

  // -----
  // process model calcs and constraints
  for (j in 1:U) {
    bmmu[1,j] = b0[j]; // biomass at first year
    for (i in 2:MN) {
      bmmu[i,j] = bm[i-1,j] * ( 1.0 + r[j]*(1-bm[i-1,j]) ) - rem[i-1,j];
    }
  }
  for (j in 1:U) {
    for (i in 1:MN) {
      bmmu[i,j] = fmax(bmmu[i,j], eps); // force positive value
    }
  }
}

model {
  // -----
  // priors for parameters
  K ~ normal( Kmu, Ksd );
  r ~ normal( rmu, rsd );
  q ~ normal( qmu, qsd );
  qs ~ normal( qmu, qsd );
  b0 ~ beta( 8, 2 ); // starting b prior to first catch event
  bosd ~ cauchy( 0, 0.5 ); // slightly informative .. center of mass between (0,1)
  bpsd ~ cauchy( 0, 0.5 );

  // -----
  // biomass observation model
  for (j in 1:U) {
    log(Y[1:N,j]) ~ normal( log(Ymu[1:N,j]), bosd[j] ); // stan thinks Y is being transformed due to
attempt to impute missing values .. ignore
  }

  // -----
  // biomass process model
  for (j in 1:U) {
    log(bm[1:MN,j]) ~ normal( log(bmmu[1:MN,j]), bpsd[j] );
  }

  // could have used lognormal but this parameterization is 10X faster and more stable
  target += - log(fabs(Y)); // required due to log transf above
  target += - log(fabs(bm));
}

```

---