



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 2018/051

Région des Maritimes

Évaluation du crabe des neiges du plateau néo-écossais (*Chionoecetes opilio*) en 2017

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



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2019
ISSN 2292-4272

La présente publication doit être citée comme suit :

Zisserson, B.M., Cameron, B.J., Glass, A.C. et Choi, J.S. 2019. Évaluation du crabe des neiges du plateau néo-écossais (*Chionoecetes opilio*) en 2017. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2018/051. x + 154 p.

Also available in English :

Zisserson, B.M., Cameron, B.J., Glass, A.C., and Choi, J.S. 2019. Assessment of Scotian Shelf Snow Crab (*Chionoecetes opilio*) in 2017. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2018/051. ix + 147 p.

TABLE DES MATIÈRES

GLOSSAIRE	V
RÉSUMÉ	IX
GESTION.....	1
HISTORIQUE.....	2
MÉTHODES	3
DONNÉES SUR LES PÊCHES.....	4
DONNÉES DU RELEVÉ 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
CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT (HABITAT)	15
CONTRÔLE DESCENDANT (PRÉDATION).....	16
CONTRÔLE ASCENDANT (LIMITATION DES RESSOURCES)	18
CONTRÔLE LATÉRAL (CONCURRENCE)	19
MALADIES.....	19
INFLUENCE ANTHROPIQUE.....	20
Prises accessoires de crabe des neiges dans d'autres pêches	21
Prises accessoires d'autres espèces dans la pêche du crabe des neiges	21
Exploration et exploitation pétrolières et gazières.....	22
Câbles sous-marins.....	22
Indicateurs socio-économiques	23
Aires marines protégées.....	24
PÊCHES	24
Effort	24
Débarquements.....	25
Taux de prise	26
Présence d'observateurs en mer.....	27
Crabe à carapace molle et crabe devenu adulte (CC1 et CC2)	27
Vieux crabe (CC5).....	28
ÉTAT DES RESSOURCES.....	29
STRUCTURE DE TAILLE	29

SEX-RATIOS	29
ABONDANCE NUMÉRIQUE DES FEMELLES	31
COMPOSANTE EXPLOITABLE DE LA POPULATION.....	31
RECRUTEMENT.....	31
MODÈLE D'ÉVALUATION DES STOCKS	32
BIOMASSE EXPLOITABLE	32
MORTALITÉ PAR PÊCHE	33
MORTALITÉ NATURELLE.....	33
APPROCHE DE PRÉCAUTION.....	34
POINTS DE RÉFÉRENCE ET RÈGLES DE CONTRÔLE DES PRISES	34
Priorités de recherche futures associées aux points de référence	35
RECOMMANDATIONS.....	36
REMARQUES GÉNÉRALES	36
SUD-EST DE LA NOUVELLE-ÉCOSSE (S.-E. DE LA N.-É.).....	37
NORD-EST DE LA NOUVELLE-ÉCOSSE (N.-E. DE LA N.-É.).....	38
ZONE 4X.....	38
REMERCIEMENTS	38
RÉFÉRENCES	39
TABLEAUX	45
FIGURES.....	54
ANNEXES.....	134
ANNEXE 1 : MODÈLES DE VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELS.....	134
ANNEXE 2 : CONTEXTE DE L'APPROCHE DE PRÉCAUTION.....	146
ANNEXE 3 : MODÈLE D'ÉVALUATION DES STOCKS	150

GLOSSAIRE

Agonistique – Terme comportemental relatif aux comportements d'agression, d'apaisement et d'évitement qui se produisent entre les membres d'une même espèce. Le comportement agonistique est un terme beaucoup plus large que l'« agressivité », qui fait simplement référence à des modèles de comportement qui servent à intimider ou à endommager autrui.

Anthropique – Résultat de l'influence de l'homme sur la nature.

Approche de précaution (AP) – 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 du stock reproducteur (BSR) – Biomasse des membres d'un stock capable de contribuer à la propagation future du stock, généralement considérée comme la biomasse des femelles adultes.

Biomasse exploitable (BE) – La biomasse du crabe des neiges exploitée par la pêche commerciale : mâle, adulte, largeur de carapace (LC) ≥ 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 LC de ≥ 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.

Brachyura (infraordre) – Connus sous le nom de « vrai crabe »; le crabe des neiges en fait partie. Les brachyours 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 telson 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.

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

Chélicède – Griffe de crustacé ou d'araignée ressemblant à une pince.

Condition de carapace (CC) – État de la carapace d'un crabe des neiges. Généralement lié 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 pâle et brillant, sans croissance superficielle 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 pâle 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, une certaine croissance en surface de mousse ou d’anatifes. La carapace est dure avec 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, etc.).

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 dans les conditions de carapace (CC) 1 et 2. Ces crabes ne sont pas commercialement souhaitables en raison de leur faible rendement en chair.

Densité – Quantité (biomasse ou nombre) de crabe par unité de surface.

Densité numérique – Nombre de crabes des neiges dans 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.

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

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

Duromètre – Instrument calibré utilisé pour mesurer la dureté d’un objet (comme une carapace de crabe), gradué de 0 (molle) à 100 (dur). Traditionnellement, on utilise une lecture du duromètre de ≥ 68 pour déterminer un crabe à carapace dure.

Dynamique – Caractérisé par un changement ou une période continue. Qui n’est pas fixe.

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

ENÉ – 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 des animaux à l’aide de récepteurs acoustiques. Ces étiquettes émettent 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. Composé d’une bande de polymère, d’un disque contenant une identification unique et d’un sertissage pour attacher l’étiquette. Exige que la recapture de l’animal étiqueté et la déclaration subséquente soient utilisées dans les études sur les déplacements.

Extrapoler – Dédurre 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.

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).

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

Maladie du crabe amer (MCA) – Maladie mortelle causée par le dinoflagellé *Hématodinium*, 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 le crabe n'a pas encore subi sa dernière mue).

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, etc.).

Mortalité par pêche (instantanée) – Taux exponentiel de mortalité des organismes.

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

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

Multipare – 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 – Femelles portant des œufs à la suite de leur premier événement de reproduction (accouplement).

Prise par unité d'effort (CPUE) – Quantité capturée lors d'un seul événement de pêche, comme le poids ou le nombre de crabes capturés par un seul casier levé.

Quota individuel de bateaux (QIB) – Quantité de crabe des neiges qu'un pêcheur peut légalement retirer dans une zone donnée au cours d'une période donnée.

Quota individuel transférable (QIT) – Quantité de crabe des neiges qu'un pêcheur peut légalement retirer dans une zone donnée au cours d'une période donnée. Cette allocation de quota doit être transférée à un autre pêcheur pour qu'il puisse la capturer.

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 – 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 (comme une région géographique donnée comme le plateau néo-écossais).

Stade larvaire – Stade d'un organisme entre deux mues (c.-à-d. la phase à carapace dure).

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 leur biomasse exploitable, où $TE(t) = \text{débarquements}(t) / (\text{débarquements}(t) + \text{biomasse exploitable}(t))$.

Temporal – Relatif au temps (tel qu'une période de temps donnée).

Total autorisé des captures (TAC) – Quantité de crabe des neiges qu'il est permis de retirer 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, elles vont du nord au sud : 20 à 24 et 4X.

RÉSUMÉ

En 2017, les débarquements de crabe des neiges (*Chionoecetes opilio*) pour le nord-est de la Nouvelle-Écosse (N.-E. de la N.-É.) et du sud-est de la Nouvelle-Écosse (S.-E. de la N.-É.) étaient de 813 t et 6 719 t, respectivement, et ils étaient de 80 t dans la zone 4X pour la saison 2016-2017, ce qui représentait une augmentation de 280 % (N.-E. de la N.-É.) et des diminutions de 30 % (S.-E. de la N.-É.) et de 47 % (4X) par rapport à l'année précédente. Les totaux autorisés de captures (TAC) de 2017 étaient de 825 t, 6 730 t et 80 t dans le N.-E. de la N.-É., le S.-E. de la N.-É. et la zone 4X, respectivement. En 2017, les taux de prise non normalisés étaient de 90 kg/casier levé dans le N.-E. de la N.-É., de 94 kg/casier levé dans le S.-E. de la N.-É., et de 25 kg/casier levé dans la zone 4X en 2016-2017, ce qui représente respectivement des diminutions de 18 %, de 11 % et de 19 % par rapport à l'année précédente. La capture de crabe à carapace molle dans le N.-E. de la N.-É. est passée d'environ 1 % à 5 % en 2016. Dans le S.-E. de la N.-É., la présence relative de crabes à carapace molle était de 1,5 % pour la saison 2017. Les taux de rejet de crabes à carapace molle dans la zone 4X demeurent très bas, étant donné que la pêche a lieu pendant l'automne et l'hiver. La présence des crabes à carapace molle et la mortalité potentielle connexe due à la manutention sont toujours un enjeu nécessitant des mesures de diligence et de gestion adaptative. Les prises accessoires d'espèces non ciblées sont très faibles (moins de 0,1 %) dans le N.-E. et le S.-E. de la N.-É. Les niveaux de prises accessoires dans la zone de pêche du crabe (ZPC) 4X ont diminué à moins de 1 %, probablement en raison d'une réduction de l'empreinte de la pêche. Tant dans le N.-E. que dans le S.-E. de la N.-É., on s'attend à un recrutement interne modéré dans la pêche au cours de la prochaine année et au-delà, d'après les histogrammes de taille et de fréquence. Dans la zone de pêche du crabe 4X, le potentiel de recrutement interne important pour la pêche au cours des quatre à cinq prochaines années est faible. Les déplacements seront probablement une source importante de la présence de crabes dans la zone 4X au cours des prochaines années. L'abondance limitée de crabes matures et immatures dans la partie voisine de la ZPC 24 et une diminution importante de l'habitat du crabe des neiges dans la zone 4X créent des incertitudes pour l'avenir. La composante mature du crabe des neiges femelle a augmenté dans toutes les régions en 2017, en raison de la maturation à grande échelle d'une impulsion de crabes femelles immatures. Ces caractéristiques de la population sont tempérées par un certain nombre d'incertitudes, notamment l'influence de la prédation et des variations rapides de température (en particulier dans la ZPC 4X et certaines parties de la ZPC 24). Les deux peuvent avoir des influences directes et indirectes sur le crabe des neiges, qui sont des sténothermes d'eau froide. L'introduction de l'approche de modélisation de la biomasse **IBM** pour 2016 a fourni des estimations d'abondance interannuelle quelque peu irrégulières. L'approche **stmv** actuelle a simplifié les entrées du modèle et ajouté un lissage temporel local des estimations de l'abondance afin de fournir des estimations plus raisonnables de la biomasse exploitable. La biomasse de crabe des neiges du N.-E. de la N.-É. après la pêche a été estimée à 3 140 t (2 794 en 2016). Dans le S.-E. de la N.-É., l'indice de biomasse exploitable modélisé après la pêche était de 37 640 t (40 100 t en 2016). Dans la zone 4X, la biomasse exploitable modélisée avant la saison de pêche était de 120 t (par rapport à 149 t en 2016-2017). La mortalité par pêche (F) dans le N.-E. de la N.-É. en 2017 a été estimée à 0,18 (taux d'exploitation de 0,16), soit une diminution par rapport à 0,33 en 2016. La biomasse exploitable a augmenté en 2017 et, bien qu'elle se situe dans la zone « saine », elle reste faible. Le recrutement est faible depuis un certain nombre d'années, mais il a commencé à augmenter et pourrait se poursuivre au cours des deux à cinq prochaines années, sous réserve de la survie des classes de recrutement. Dans le N.-E. de la N.-É., on recommande une diminution modérée du TAC. La mortalité par pêche (F) dans le S.-E. de la N.-É. en 2017 a été estimée à 0,25 (taux d'exploitation de 0,22), soit une augmentation modérée par rapport à 0,23 en 2016. Un bon recrutement et une structure de taille relativement stable laissent entrevoir des

perspectives positives. Bien que le stock se trouve dans la zone « saine », les estimations modélisées de la biomasse sont faibles. Dans le N.-E. de la N.-É., on recommande une diminution modérée du TAC. La mortalité par pêche dans la zone 4X pour 2016-2017 a été estimée à 0,36 (0,22 en 2015-2016). L'augmentation de la température et la limitation connexe de l'habitat viable disponible du crabe des neiges menacent l'existence du stock de crabe des neiges dans la zone 4X. Dans la zone 4X, la biomasse exploitable modélisée reste faible et l'estimation actuelle du stock se situe dans la zone « critique ».

GESTION

Le stock de crabe des neiges (*Chionoecetes opilio*) de l'écosystème du plateau néo-écossais (PNE) est géré en trois grandes zones : nord-est de la Nouvelle-Écosse (N.-E. de la N.-É.), sud-est de la Nouvelle-Écosse (S.-E. de la N.-É.) et zone 4X (tableau 1; figure 1). Le sud-est de la Nouvelle-Écosse (S.-E. de la N.-É.) est subdivisé en deux zones de gestion des pêches : les zones de pêche du crabe (ZPC 23 et 24) 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 (ENÉ) était fondée sur le contrôle de l'effort (taille, sexe, dureté de la carapace, saison, permis, limites des casiers). D'autres mesures de gestion ont été introduites de 1994 à 1999 : quotas individuels de bateaux (QIB), 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 N.-E. de la N.-É., le S.-E. de la N.-É. et la zone 4X, respectivement). Des systèmes de surveillance des navires (SSN) ont été mis en œuvre dans le S.-E. de la N.-É. et la zone 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 S.-E. de la N.-É. 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 zone 4X en raison de la faible incidence du crabe à carapace molle dans les prises et n'a pas été adoptée dans le N.-E. de la N.-É. en raison de la très courte saison. Toutefois, en raison de l'incidence élevée des crabes à carapace molle dans le N.-E. de la N.-É. 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 drastique des prises de crabe à carapace molle que le commencement de la saison a été avancé dans le S.-E. de la N.-É. également. Enfin, la remise à la mer volontaire de crabes immatures de taille légale (> 95 mm de largeur de carapace [LC]); crabes à pinces atrophiées) a été mise en œuvre en 2006 pour toutes les zones de la PNE, 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 la PNE ont conclu une entente de projet conjoint pour évaluer le crabe des neiges de la PNE 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 la PNE, 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 zone 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 » (EC), qui finance directement le programme de recherche scientifique sur le crabe des neiges dans la région des Maritimes. Depuis sa création en 2013, tous les détenteurs de permis de la région ont participé à ladite entente.

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 MSC en septembre 2017, sans condition. La différence fondamentale entre la norme précédente et la version 2 est que 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 convoquée en novembre 2017 en raison des nombreuses interactions entre la pêche au crabe des neiges et les baleines noires de l'Atlantique Nord (BNAN) 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 (BNAN).

HISTORIQUE

La pêche du crabe des neiges est actuellement la troisième [pêche commerciale](#) la plus importante au Canada atlantique et la quatrième 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 zone 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 S.-E. de la N.-É. et 1 493 t dans le N.-E. de la N.-É. Environ 10 000 t de crabe des neiges ont été débarquées chaque année de 2000 à 2004. Ainsi, dans le S.-E. de la N.-É., 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 sur la PNE.

Dans le N.-E. de la N.-É., en raison d'un recrutement négligeable, les TAC ont fortement diminué par rapport à 2004-2008. 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 de l'absence quasi totale de recrutement dans la pêche. Ces baisses ont été exacerbées par l'adoption de règles de contrôle des prises qui ont forcé la stratégie d'exploitation dans le N.-E. de la N.-É. à être plus prudente. Un nouveau modèle d'estimation de la biomasse (« LBM », détails dans la section Méthodes) 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 N.-E. de la N.-É. En 2017, le TAC pour le N.-E. de la N.-É. était le plus élevé depuis 2004, malgré un faible recrutement continu dans la pêche.

Dans le S.-E. de la N.-É., les TAC ont augmenté à partir de 2005 pour atteindre un niveau jamais atteint auparavant en 2010, puis ils ont progressivement diminué jusqu'en 2015. Une réduction de 15 % a eu lieu en 2016, suivie d'une autre diminution de 30 % en 2017 en raison de la diminution des estimations de la biomasse.

Les TAC de la zone 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 zone 4X (débarquements de $<1/2$ TAC) ont entraîné des réductions drastiques du TAC de la 4X pour 2013-2014. Le TAC dans la zone 4X est demeuré faible (par rapport aux niveaux d'avant 2013), tout comme les estimations de la biomasse commerciale.

MÉTHODES

Le principal moteur des approches analytiques élaborées pour l'évaluation du crabe des neiges sur la PNE 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 (équipe de développement de 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 Zisseron, 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 capture de la pêche sont des indicateurs potentiellement biaisés de l'abondance du crabe. 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 des espèces, l'expérience des pêcheurs, le type d'appât, les périodes d'immersion et les courants ambiants. Les taux de prises n'ont pas été ajustés pour tenir compte de ces influences et ne sont présentés 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 (ISDB). 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 observés) était de 5 % dans le S.-E. de la N.-É. et le N.-E. de la N.-É. et de 10 % pour la zone 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 :

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

DONNÉES DU RELEVÉ DE RECHERCHE

La couverture spatiale dans le relevé (1) est importante, va bien au-delà de toutes les aires de pêche commerciale connues et est (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. Entre 2004 et 2017, 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 d'enquête de 2017, 32 stations n'ont pas été échantillonnées comme prévu. Ces stations se trouvaient du côté sud du banc Banquereau, à l'angle sud-est de la limite continentale du plateau néo-écossais.

L'étendue du plan d'échantillonnage permet de déterminer objectivement les limites spatiales de la population de crabe des neiges, renseignements qui doivent être connus si l'on veut obtenir des estimations fiables de la biomasse et de la structure de la population (p. ex. taille, sexe, maturité). La répartition spatiale du crabe des neiges est assez dynamique et peut donc se déplacer rapidement vers des zones où il n'est pas « traditionnellement » présent. De plus, les profils de répartition des crabes immatures, à carapace molle, très vieux et femelles ne correspondent pas complètement à ceux des mâles de taille réglementaire. On considère que les premiers sont moins compétitifs et plus sensibles 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 uniquement sur les zones où les grands mâles à carapace dure sont très fréquents ne permettrait pas d'estimer de façon fiable l'abondance relative de ces autres segments importants 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. Par conséquent, les tendances temporelles sont les plus fiables pour la période postérieure à 2004. Dans toutes les zones, les zones de pêche sont laissées en jachère le plus longtemps possible entre le moment de la pêche commerciale et celui des relevés dans cette zone particulière. Cela permet aux populations de crabes de se redistribuer aussi naturellement que possible 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 naturelle 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 des 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 sur les oiseaux de mer. 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 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. Les crabes capturés ont également fait l'objet d'un examen visuel 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, à l'IOB (Institut océanographique de Bedford, Dartmouth, Nouvelle-Écosse).

Dans les cas où il est impossible de peser des crabes des neiges individuels (pattes manquantes, croissance excessive d'anatifes, etc.), les estimations du poids individuel ont été approximées 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 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).

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

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

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

L'état de maturité des femelles est évalué à partir d'une inspection visuelle directe de la présence des 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 par l'équation suivante (E. Wade, communication personnelle, CPG) :

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

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 d'infection par MCA du 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 déceler les infections à un stade avancé. Après une comparaison critique 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^{-2} ; 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. Chaque stade (I) a été déterminé après une analyse des distributions taille-fréquence afin d'obtenir une limite inférieure de largeur de carapace (mm) approximée par (voir aussi la figure 7) :

$$\text{LC}_{(I, \text{mâle})} [\text{mm}] = \exp(1,918 + 0,299 - (I - 3))$$

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

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 détaillée 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, tel que la biomasse du crabe des neiges, comme un processus hiérarchique en deux étapes qui s'apparente conceptuellement au krigeage avec « dérive externe » (Cressie, 1993), plus formellement connu sous le nom de « géostatistique fondée sur un modèle » (Diggle *et al.*, 2003), où 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. Généralement, une simple covariance spatiale (variogramme) est supposée ou estimée pour l'ensemble du domaine spatio-temporel et constitue la base du krigeage avec dérive externe. 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 » (REF). Cependant, un modèle structuré de séries chronologiques avec des composantes harmoniques saisonnières et annuelles a été 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). Ces interpolations temporelles ont à leur tour été utilisées pour informer l'interpolation spatiale par l'intermédiaire d'un krigeage localisé pour chaque tranche de temps. Tous les paramétrages propres à l'évaluation se trouvent à l'adresse :

<https://github.com/jae0/bio.snowcrab/blob/master/R/snowcrab.parameters.R>

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), nord et est, profondeur, pente du fond, courbure du fond, température au fond, écart-type de température au fond, ln(granulométrie du substrat; mm), composition des espèces (analyse des correspondances, axes 1 et 2) (figures 8 et 9; voir Choi *et al.*, 2005a pour plus de détails sur la méthodologie). On a utilisé ces relations modélisées pour prédire l'habitat du crabe des neiges de la PNE 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 ou lorsque l'intervalle de confiance (IC) à 95 % de la probabilité d'observer le crabe n'a pas recoupé 0 (figure 10).

Pour la biomasse exploitable, une deuxième étape de modélisation a été effectuée à partir des estimations positives de l'abondance en utilisant la même procédure globale-locale, quoiqu'avec une liaison logarithmique. Après l'estimation, la probabilité qu'un endroit soit un habitat viable a été utilisée comme facteur de pondération de ces estimations positives de l'abondance pour déterminer la densité de la biomasse exploitable ajustée en fonction de l'habitat viable dans un endroit donné (figure 11). Les mêmes covariables utilisées pour la délimitation de l'habitat ont été utilisées pour la modélisation de l'abondance. Les densités numériques des stades de vie non commerciaux du crabe des neiges ont été estimées à l'aide de la moyenne géométrique des stations du relevé annuel du crabe des neiges, faute de temps pour modéliser et estimer leur répartition.

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 terrestres 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, les prédateurs du crabe des neiges ont été déterminés, 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'impact de la prédation est lié 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 du crabe des neiges déterminés 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 confiance estimés selon la méthode bootstrap de la zone, et ils ont été normalisés pour chaque trait (exprimés en kg/km²).

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 soutenu, ou F_{RMS}) 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 (AP) 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 (ACP) 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'ACP 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 (*Chionoecetes opilio*, Brachyura, Majidae, O. Fabricius) 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. Sur la PNE, le crabe des neiges pêché commercialement est généralement observé entre 60 m et 280 m de profondeur et à des températures entre -1 °C 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 aux gains métaboliques (Foyle *et al.*, 1989); cependant, dans le S. de la N.-É., 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 les femelles primipares – première reproduction; et jusqu'à 24 mois chez les femelles multipares – 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 (Elnor 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 d'environ 57,4 mm d'épaisseur 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 assez 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, lorsque les larves pélagiques sont libérées. Le stade larvaire pélagique dure de trois à cinq mois (stades zoé 1 et 2, puis stade mégalope), période durant laquelle le crabe des neiges se nourrit de plancton. Les larves se déposent au fond en automne et en hiver (septembre à octobre dans la région du Golfe). Sur la PNE, les stades 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 sédimenté au 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^{er} stade larvaire), la largeur de carapace (LC) est d'environ 3 mm. Après le 5^e stade (LC de 15 mm), la fréquence de mue diminue jusqu'à la mue printanière annuelle jusqu'à ce qu'ils atteignent une maturité terminale. La croissance est allométrique, le poids augmentant d'environ 250 % à chaque mue (figure 7). On a observé une mue terminale entre le 9^e et le 13^e stade chez les mâles et le 9^e et le 10^e stade chez les femelles. Juste avant la mue terminale, 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 ≥ 95 mm) dès le 12^e stade; cependant, une fraction variable du crabe des neiges du 11^e stade est également de taille réglementaire. Le crabe des neiges mâle au 12^e stade représente un âge d'environ neuf ans à partir du moment où il s'est établi au fond et 11 ans depuis l'extrusion des œufs. Par la suite, l'espérance de vie d'un mâle est d'environ cinq à six ans. Il faut jusqu'à dix 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 du crabe CC5.

Les femelles se reproduisant pour la première fois (femelles primipares) commencent généralement leur mue à maturité à une taille moyenne de 60 mm de LC et s'accouplent alors que leur carapace est encore molle (début du printemps : avant la saison de pêche dans l'est de la N.-É. et pendant la saison de pêche dans la zone 4X). Une deuxième période d'accouplement plus tard dans l'année (de mai à juin) a également été observée pour les femelles multipares (Hooper, 1986). On a aussi observé des habitudes comportementales complexes : le 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 étroite d'accouplement durant lequel 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 les femelles sur le point de 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 pattes-mâchoires plus grosses sont généralement plus efficaces pour l'accouplement et la protection des femelles contre les dangers.

CONTEXTE ÉCOSYSTÉMIQUE

APERÇU

Un aperçu de certains facteurs sociaux, économiques et écologiques pertinents a été utilisé dans des évaluations antérieures du crabe des neiges du plateau néo-écossais pour servir de base à une discussion sur la place du crabe des neiges dans son écosystème (pour plus de détails, voir Choi *et al.*, 2005a). Pour de plus amples renseignements, voir la publication de Cook *et al.* (2015), qui contient le tableau le plus récent/complet de l'ordination triée des anomalies des principaux modèles sociaux, économiques et écologiques relatifs au crabe des neiges sur le plateau néo-écossais.

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 socio-économiques 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 N.-É. 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 N.-É. Les différences temporelles sur cet axe révèlent que des changements systémiques cohérents sont survenus dans les indicateurs socio-économiques et écologiques au début des années 1990, avec manifestement un certain retour aux états antérieurs.

Il convient de noter que 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 de fond et à leur variabilité, aux concentrations d'oxygène au fond et à la couverture de glace marine.

L'information anecdotique fournie par les pêcheurs et les taux de prises par pêche (figure 4) suggère que l'abondance du crabe des neiges était faible dans les zones littorales de la PNE, avant 1980. Des augmentations des taux de prises ont été observées sur l'ensemble de la plate-forme au milieu des années 1980 et dans les années 1990 dans le N.-E. et le S.-E. de la N.-É., 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 croissante sur la plate-forme continentale doit avoir eu son origine dès la fin des années 1970 et les années 1980 (N.-E. et S.-E. de la N.-É., respectivement). Pour le S.-E. de la N.-É., 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. Toutefois, 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 prises 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 de façon simpliste dans les catégories d'explication suivantes : connectivité (dynamique de métapopulation); environnement (habitat); contrôle descendant (prédation); contrôle ascendant (limitation des ressources); contrôle latéral (concurrence) et influence anthropique (perturbations complexes). Celles-ci seront brièvement discutées ci-dessous.

CONNECTIVITÉ

Dans le contexte de 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. Dans le cas du crabe des neiges, la connectivité entre les populations existe en raison de deux processus principaux : la dispersion larvaire aux stades planctoniques et le mouvement dirigé aux stades benthiques.

Dispersion larvaire

J. Chassé et D. Brickman (Division des sciences océanologiques, IOB, MPO; communication personnelle) ont étudié le potentiel de transport hydrodynamique des larves de crabe des neiges du sud du golfe du Saint-Laurent vers la PNE et la circulation interne sur cette plate-forme. En traitant les larves comme des particules passives, les simulations semblent indiquer qu'un grand nombre de larves peuvent être transportées vers la PNE (surtout près du banc de l'île de Sable et dans les hauts-fonds plus à l'ouest). La possibilité que des larves de crabe des neiges pénètrent sur la PNE à partir de la région du golfe du Saint-Laurent et du courant du Labrador ne peut être ignorée, 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, même dans des conditions advectives très fortes, grâce au contrôle des migrations verticales. Ainsi, le degré de rétention larvaire sur la PNE, bien qu'inconnu, peut être important.

Les observations suivantes suggèrent que la population du PNE peut agir comme un système de reproduction autonome :

- La dynamique temporelle de la population de crabe des neiges du PNE est généralement déphasée par rapport aux cycles observés jusqu'ici dans le sud du golfe du Saint-Laurent. Si la PNE 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 [PIP] dans les années 1980; voir le résumé dans Choi *et al.*, 2005b, page 14) a été observée comme étant très répandue sur la PNE, 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.
- Un pouls de l'abondance larvaire a été observé de 1997 à 1999 avec des pics en 1998 (Choi *et al.*, 2005b, page 14). Le moment de cette impulsion correspond aux calendriers de croissance du recrutement « local » actuellement prévu. Il faudrait environ neuf ans pour passer des stades zoé au stade larvaire 11/12, stade auquel le crabe des neiges commence à muer jusqu'à 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 précisément la même période où l'abondance des mâles et des femelles adultes sur la PNE était à son maximum.

Les preuves circonstanciées susmentionnées donnent à penser que le crabe des neiges résidant sur la PNE 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 sur la PNE proprement dite ne peut être écarté. À cette fin, il faut adopter une approche prudente à l'égard de la prise des grands mâles adultes (c.-à-d. des taux d'exploitation réduits) dans cette région pour leur permettre de s'accoupler avec les femelles à maturité plus rapide. Sans le maintien d'une forte base de population de grands mâles adultes, les femelles qui arrivent à maturité plus tôt dans le processus de recrutement pourraient faire face à des limitations de spermatozoïdes, ce qui pourrait avoir des conséquences négatives 7 à 10 ans plus tard.

Déplacement

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 recharge en ligne pour soumettre les renseignements sur la recapture d'individus marqués](#) afin de faciliter la déclaration des recaptures d'individus marqués.

Les renseignements sur les déplacements se limitent principalement à la recapture de crabes mâles adultes ayant subi leur dernière mue. L'application d'étiquettes 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 commercial, l'un marqué par des taux de déplacement supérieurs à la moyenne pour un segment de la population (figure 14). De plus, il y a deux périodes distinctes (de 2 à 4 ans chacune) dans la série chronologique où des augmentations appréciables des taux de mouvement 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 S.-E. de la N.-É. et presque inexistantes dans le N.-E. de la N.-É. 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 N.-E. de la N.-É. vers le Golfe (ZPC 12 et ZPC 19) au cours de ces périodes. Malheureusement, il n'existait aucun mécanisme d'observation de l'immigration dans le N.-E. de la N.-É., 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.

Depuis 2004, 22 488 étiquettes ont été apposées et 1 627 crabes distincts (7,2 %) ont été déclarés (tableau 6) dans le N.-E. et le S.-E. de la N.-É. Une proportion inconnue (et potentiellement importante) des recaptures d'individus marqués n'a pas été déclarée. Ces captures non déclarées ont un impact négatif sur la compréhension des profils de déplacement. Même avec des taux potentiels de mortalité et d'exploitation liés à l'étiquetage de 15 à 30 %, une proportion beaucoup plus élevée (plus de 7,2 %) d'individus marqués est probablement recapturée. L'information anecdotique suggère que les pêcheurs ne déclarent pas toujours les recaptures. Depuis 2004, 171 individus ont déclaré des recaptures et il y a eu 1 748 recaptures totales (tableau 6) de 1 627 crabes. En moyenne, chaque participant a déclaré dix captures différentes ou plus. D'autres pêcheurs, qui travaillent à proximité de ces individus, n'ont déclaré aucune recapture d'étiquettes.

Sur les 1 627 individus marqués distincts recapturés, 1 081 ont été remis à l'eau et 103 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 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 dérivent le crabe à mesure qu'il se dépose au fond après son rejet. Traditionnellement, le mouvement 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 l'événement d'étiquetage (le délai moyen de recapture était de 455 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'événement d'étiquetage. La plupart des étiquettes sont apposées à bord de bateaux de pêche commerciale qui se livrent à la pêche au crabe, de sorte que les étiquettes sont généralement apposées là où les concentrations de crabe commercial et les prises qui en résultent sont élevées. Cette exploitation localisée élevée peut expliquer que la majorité des recaptures proviennent de

crabes capturés au cours de la même saison ou de la saison suivante après marquage. Par conséquent, on s'attend à des recaptures et à des rapports beaucoup plus élevés.

La capacité locomotrice du crabe des neiges peut être très grande, car la distance moyenne parcourue était de 27 km, avec une distance maximale de 504 km (tableau 6). La vitesse moyenne de déplacement était de 1,8 km/mois. Ces distances et ces taux sont très 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 capturé dans le S.-E. de la N.-É. à un taux de déplacement de 2,12 km/mois, soit un peu plus élevé que dans le N.-E. (1,78 km/mois) pour le « plus court trajet » (habitat restreint). Dans la zone 4X, le taux de déplacement est à nouveau légèrement inférieur à 1,20 km/mois (tableau 7).

À partir de 2004-2017, les déplacements entre le N.-E. et le S.-E. de la N.-É. ont été rares. Au total, 11 crabes marqués dans le S.-E. de la N.-É. ont été recapturés dans le N.-E. de la N.-É. et 5 crabes marqués dans le N.-E. ont été recapturés dans le S.-E. Ces chiffres peuvent être des sous-estimations des déplacements totaux en raison de la non-déclaration des recaptures (figure 13).

Les montaisons de crabes marqués entre 2010 et 2014 indiquent un déplacement important du N.-E. de la N.-É. vers le sud du golfe du Saint-Laurent (« le Golfe », figure 13). La nature apparemment unidirectionnelle de ce déplacement (du N.-E. de la N.-É. au Golfe) est faussée par le fait qu'il n'y a pas eu de marquage dans la région du Golfe pendant cette période. Par conséquent, le degré réel de connectivité entre le Golfe et le N.-E. de la N.-É. demeure inconnu et pourrait être important étant donné les concentrations élevées de crabe commercial dans la zone adjacente 19 (M. Moriyasu, communication personnelle). On espère que le programme d'étiquetage renouvelé dans la zone 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 individus marqués recapturés dans la zone 4X est beaucoup plus élevée que dans les autres zones (figure 15), en raison de la petite taille (5-6 bateaux) et de l'engagement élevé de la flottille de pêche du crabe des neiges dans cette zone. Sur les 971 étiquettes déployées dans la zone 4X depuis 2008, 99 (10 %) ont été capturés au moins une fois. De ce nombre, 12 (12 %) ont été capturés une deuxième fois, 5 (41 %) sur les 12 ont été capturés une troisième fois. On n'a pas encore observé de déplacement important entre la zone 4X et le S.-E. de la N.-É. Avec une forte participation et une faible émigration, on pourrait s'attendre à un taux de montaison supérieur pour la capture initiale. La mortalité due au réchauffement peut être un facteur contributif (Zisserson et Cook, 2017).

Il est recommandé de remettre à l'eau immédiatement le 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 N.-É.](#) et cliquez sur l'onglet de l'étiquetage.

Programme d'étiquetage acoustique

Depuis 2013, des étiquettes acoustiques sont apposées sur le crabe des neiges dans le N.-E. de la N.-É. et ses environs. Une méthodologie complète pour l'application d'étiquettes acoustiques sur le crabe des neiges a été élaborée (Zisserson et Cameron, 2016). Les récepteurs acoustiques, fixes et mobiles, reconnaissent et enregistrent chaque fois qu'un crabe des neiges muni d'une étiquette acoustique s'approche du récepteur. 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 six aient été apposées sur des crabes des neiges femelles adultes dans la ZPC 23, près du N.-E. de la N.-É., 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 l'individu marqué dans le cadre d'activités de pêche commerciale. Ainsi, les motivations personnelles à déclarer (ou non) les recaptures d'individus marqués ne biaisent pas les données sur les mouvements. L'industrie de la pêche du N.-E. de la N.-É. émet depuis longtemps des hypothèses sur les schémas de déplacements dans le N.-E. de la N.-É. à partir des zones adjacentes. Les réseaux de récepteurs acoustiques entre le N.-E. de la N.-É. et le Golfe ainsi que le N.-E. de la N.-É. et la ZPC 23 peuvent aider à décrire ces profils de déplacement.

Au cours de l'été 2013, 27 balises acoustiques ont été déployées dans le N.-E. de la N.-É. En un peu plus d'un an, 10 de ces étiquettes ont été détectées sur la ligne du détroit de Cabot (séparant essentiellement le N.-E. de la N.-É. et le Golfe) et trois 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. Il est intéressant de noter qu'à ce jour, aucun de ces crabes n'a été détecté dans la région du Golfe ou à proximité. En fait, 23 des 27 crabes remis à l'eau ont été détectés depuis, tous 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 N.-E. de la N.-É., ainsi que les résultats obtenus à partir des données sur les déplacements des individus marqués d'une étiquette spaghetti. Quarante (40) individus marqués d'une étiquette acoustique ont été remis à l'eau dans le secteur de la fosse de Glace Bay du N.-E. de la N.-É. en 2015. Ces animaux ont tous été détectés dans le N.-E. de la N.-É.

Des individus marqués d'une étiquette acoustique ont été relâchés dans les zones adjacentes au N.-E. de la N.-É. pour aider à déterminer si le déplacement était unidirectionnel ou bidirectionnel. Cinquante-sept (57) individus marqués ont été relâchés dans la région du Golfe (ZPC 19) depuis 2015, et on n'a détecté aucun d'entre eux dans le N.-E. de la N.-É. à ce jour. Soixante-dix (70) individus marqués ont été relâchés dans le S.-E. de la N.-É. (ZPC 23) depuis 2015, et on n'a détecté aucun d'entre eux non plus dans le N.-E. de la N.-É.

En 2017, 10 crabes marqués d'étiquettes acoustiques ont été relâchés près des limites des ZPC 4X et 24. L'activité fréquente des planeurs dans la région devrait entraîner des taux de détection élevés chez ces animaux.

Si la reproduction est en fait le principal moteur des profils de déplacement, on s'attendrait à des niveaux limités d'émigration du N.-E. ou du S.-E. de la N.-É. dans un proche avenir, car l'abondance des femelles adultes est actuellement élevée et devrait demeurer élevée pour les prochaines années.

CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT (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 de temps ont été observées sur la PNE. Par exemple, avant 1986, la plate-forme se caractérisait par des températures de fond relativement chaudes, un faible volume de la couche intermédiaire froide et une position frontale du Gulf Stream plus près de la plate-forme continentale. La période postérieure à 1986 s'est transformée en un environnement caractérisé par des températures de fond froides, un volume élevé de la couche intermédiaire froide et une position frontale Gulf Stream éloignée du plateau. On pense que la principale cause du froid est l'advection le long de la plate-forme continentale 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

penne 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 penne continentale du Labrador se sont déplacées dans la région le long du rebord de la plate-forme 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 de la plate-forme depuis les années 1960, il a été de courte durée, soit environ un an.

Les températures de fond dans les centres de distribution du crabe des neiges du S.-E. de la N.-É. augmentent constamment depuis le début des années 1990 (figures 17, 18 et 19). Le nord-est de la Nouvelle-Écosse (N.-E. de la N.-É.) présente un champ de température de fond relativement plus stable, bien qu'il présente toujours une légère tendance à la hausse. Dans la zone 4X, les températures au fond continuent d'être généralement plus chaudes et plus irrégulières 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 augmenter la fécondité individuelle (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 dues à la température des populations locales de crabe des neiges ont déjà été observées sur le plateau néo-écossais. Les estimations de l'abondance et les taux de prises 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.

Dans l'ensemble, l'habitat potentiel du crabe des neiges du plateau néo-écossais pour 2017 était inférieur à la moyenne à long terme. Toutes les zones ont un habitat possible se situant au niveau le plus bas observé au cours des 20 dernières années (figures 19 et 20).

CONTRÔLE DESCENDANT (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 (en mode LC de 7 mm, c'est-à-dire les stades 2 à 7, le stade 7 étant fortement sélectionné). Les mâles à carapace molle dont la taille variait de 77 à 110 mm de LC 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'écosystème du plateau néo-écossais. 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 sur la PNE étaient les suivants, par ordre d'importance : le loup atlantique (*Anarhichas lupus*), le flétan atlantique (*Hippoglossus hippoglossus*), les raies (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*). D'après ces données, le niveau global de prédation du crabe des neiges semble être négligeable sur la PNE, puisque seul le flétan atlantique et le loup atlantique ont observé du crabe des neiges dans plus de 1 % des estomacs échantillonnés (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 (voir la section Méthodes : Données des relevés de recherche pour plus de détails) 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.

La biomasse du flétan atlantique a augmenté, particulièrement dans le S.-E. de la N.-É., ce qui laisse croire que le nombre total de crabe des neiges consommé pourrait augmenter par rapport à ce prédateur (figures 21 et 22). Généralement, on n'observe que le crabe 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, en particulier le plus gros poisson 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 rapports anecdotiques de grands flétans de l'Atlantique avec de multiples crabes des neiges femelles adultes dans leur estomac appuient cette affirmation. L'augmentation de la prédation des crabes femelles adultes pourrait avoir une incidence sur le potentiel reproducteur du crabe des neiges du plateau néo-écossais.

Le loup atlantique est le premier prédateur potentiel du crabe des neiges par ordre d'importance, mais ses indices de biomasse indiquent actuellement de faibles niveaux dans toutes les régions (figures 23 et 24). Si le relevé du crabe des neiges reflète 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 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 al.* (2011) suggèrent que l'effet de contrôle descendant de la morue 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 sur le plateau néo-écossais n'ont pas démontré que la morue est un prédateur fréquent du crabe des neiges (tableau 8). De plus, les populations de morue franche de la PNE sont actuellement à des niveaux d'indice de biomasse réduits dans toutes les régions par rapport aux niveaux historiques (figures 29 et 30); cependant, il y a eu des

augmentations au cours des dernières années dans le S.-E. de la N.-É. (ZPC sud; figure 30). L'aiglefin peut représenter une source supplémentaire croissante de prédation dans des zones localisées du S.-E. de la N.-É., en particulier dans la zone 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 pourra consommer que du crabe des neiges de stade précoce. On a signalé la prédation du crabe des neiges par les calmars, les phoques 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 le relevé 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 le crabe des neiges plus gros, surtout pendant la période qui suit immédiatement la mue. La mortalité globale par prédation du poisson de fond semble être une source croissante de mortalité pour le crabe des neiges sur la PNE.

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 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 preuves d'une influence négative des phoques sur la population de crabe des neiges. En fait, il est très possible que les phoques et d'autres mammifères marins puissent avoir une influence positive sur cette population en important physiquement des aliments et des déchets alimentaires (Katona et Whitehead, 1988) d'autres zones plus 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 du crabe (à la fois dans les premiers stades pélagiques et dans les stades benthiques).

CONTRÔLE ASCENDANT (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 mâles semblent être des prédateurs plus capables que les femelles et consomment plus de petits poissons que les crabes femelles. Des études ont également démontré que le cannibalisme existe au sein des populations de crabe des neiges. Le cannibalisme entre les cohortes est sélectif quant à la taille, les stades VIII et IX étant un prédateur dominant des individus du stade I (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 cannibalistique peut créer une source importante de mortalité liée à la densité.

Le taux d'augmentation rapide de l'abondance du crabe des neiges semble certainement indiquer que la concurrence des ressources n'était pas un facteur limitatif (jusqu'à la fin des années 1990).

Les niveaux annuels de chlorophylle a pour 2016 étaient faibles dans l'ensemble de la PNE. La floraison printanière du phytoplancton a été retardée et était d'une ampleur moindre sur le plateau néo-écossais, avec une longueur plus courte dans la partie centrale et une longueur moyenne dans la partie est (MPO, 2017d). Le changement dans la structure des espèces de zooplancton sur le plateau néo-écossais s'est poursuivi en 2016, avec une faible abondance de *Calanus finmarchicus*, riche en énergie.

La répartition de la crevette nordique (*Pandalus borealis*) sur le plateau néo-écossais semble demeurer vaste (figure 36); toutefois, les densités de crevettes du relevé du crabe des neiges (figure 37) et les résultats des évaluations des stocks spécifiques (MPO, 2017b) indiquent que le stock de la plate-forme est en déclin.

CONTRÔLE LATÉRAL (CONCURRENCE)

Les influences latérales (et internes) font référence aux interactions concurrentielles avec le poisson de fond, d'autres espèces de crabes, le cannibalisme et la mortalité (directe et indirecte) due à la reproduction. Le régime alimentaire du crabe des neiges chevauche de nombreuses façons 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 aura 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 concombres de mer, du lançon, du capelan et du crabe-araignée. Certaines de ces espèces pourraient être les concurrentes 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 crabes des neiges. Les augmentations soutenues relatives aux populations de homards proches des côtes au cours des dix dernières années (MPO, 2017c) peuvent 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 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 de crabe amer chez le crabe des neiges ont été observées en

Alaska, à Terre-Neuve, au Groenland, et plus récemment sur le plateau néo-écossais (Morado *et al.*, 2010). Au Canada atlantique, on a observé du crabe des neiges infecté par 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 (PNE). 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 l'*Hématodinium* d'origine hydrique), sont des facteurs limitants potentiels de la prévalence de la maladie (Morado *et al.*, 2010). On a observé du crabe des neiges infecté pour la première fois sur le plateau néo-écossais lors du relevé au chalut du crabe des neiges de 2008, et quelques rapports anecdotiques de crabes infectés avaient été observés dans les prises commerciales dans les zones côtières avant 2008. Le moment choisi pour 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 d'ici l'automne. L'identification visible de l'infection peut être confondue avec l'examen des animaux infectés aux premiers stades de l'infection (qui ne sont pas encore visibles) plus tôt dans une année donnée.

Cette maladie est causée par un dinoflagellé parasite du genre *Hématodinium*. Elle infecte l'hémolymph (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 être celles d'animaux qui ont mué au cours de la dernière année (nouvelle carapace). Par conséquent, il y a une forte probabilité d'infection chez les animaux juvéniles, car ils muent fréquemment. On ignore si les animaux infectés par l'*Hématodinium* développeront toujours la maladie. La maladie est considérée comme 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 hémolymph laiteuse. Selon la gravité de l'infection, elle est facilement identifiable visuellement. Certains chercheurs ont considéré que l'épreuve de réaction en chaîne de la polymérase (PCR) effectuée en laboratoire sur un échantillon d'hémolymph fixé à l'alcool était le test définitif de la contamination animale. Cependant, l'utilisation de cette approche de laboratoire du crabe des neiges de la PNE semble à la fois coûteuse et peu fiable. Ainsi, d'après l'expérience d'observation et le caractère saisonnier de l'enquête, 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 0,1 % (tableau 9). On a observé que la maladie du crabe amer 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 bien en dessous de la taille commerciale réglementaire (figure 43). On n'a pas encore observé de crabes à carapace plus vieille, adultes et infectés par la maladie du crabe amer 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 la PNE 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.

INFLUENCE ANTHROPIQUE

L'influence anthropique est un mélange assez 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 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 d'autant plus important que les zones où la pêche à la crevette est très active sont les mêmes que celles où les taux de prises et les débarquements de crabe des neiges sont les plus élevés. La pêche côtière du homard d'Amérique (*Homarus americanus*) peut également représenter une source de mortalité chez les femelles juvéniles et adultes du crabe des neiges dans certaines régions, car des rapports anecdotiques suggèrent que le homard est capturé dans des casiers et utilisé (illégalement) comme appât. Les pêcheurs ont déclaré que cette situation était plus fréquente dans la zone 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. Cette prise accessoire de crabe 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'écosystème du plateau néo-écossais peuvent être extrapolées à l'ensemble de la flotte en fonction des débarquements et de la proportion des débarquements observés (tableaux 10 et 11). Dans l'est de la N.-É., il y a eu un débarquement total de 7 532 t de crabe des neiges en 2017, avec des prises accessoires estimées à 1,9 t. Les taux de prises accessoires dans cette région sont traditionnellement très faibles et les niveaux de 0,03 % en 2017 continuent cette tendance. Les estimations des prises accessoires de 2017 continuent de montrer une plus grande diversité d'espèces que par le passé. Il pourrait s'agir d'un indicateur précoce d'un changement par rapport à la domination des macro-invertébrés du plateau néo-écossais observée depuis les années 1990.

Dans la zone de pêche du crabe (ZPC) 4X, les prises accessoires totales estimées étaient de 0,2 t, associées à 80 t de débarquements de crabe des neiges (0,2 %). La zone de pêche du crabe (ZPC) 4X affiche traditionnellement des taux de prises accessoires plus élevés (par rapport à l'est de la N.-É.) en raison de densités plus faibles de crabe des neiges commercial et d'une plus grande diversité des espèces dans certaines zones de pêche. En 2013 et 2014, les taux de prises accessoires dans la zone 4X étaient anormalement élevés (par rapport aux saisons précédentes) en raison de taux de prises très faibles et de l'augmentation de la recherche pour localiser le crabe des neiges commercial. 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 zone 4X en 2015 et 2016 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 la PNE peut être attribuée à :

- 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 d'Amérique) 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 N.-É., 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 dernières saisons. Au cours des trois dernières saisons, on a observé des loups à tête rayée (« espèce préoccupante » selon 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 zones de concentrations du crabe des neiges tant du N.-E. de la N.-É. que du S.-E. de la N.-É. 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 (MPO, 2004; Boudreau *et al.*, 2009; Courtenay *et al.*, 2009). Toutefois, les données empiriques après 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 (c.-à-d. Hunt Oil, 2005; Husky Energy, 2010), où abondent généralement les crabes immatures et les crabes femelles, semblent révéler que la prospection sismique a pu avoir une incidence 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 N.-E. et le S.-E. de la N.-É. en 2017-2019 (figure 44) dans le cadre de son plan triennal actuel (OCNEHE, 2017). Le bloc d'exploration pour 2017 comprend la majeure partie du N.-E. de la N.-É. et de la ZPC 23, pour 2018 un bloc à l'ouest de l'île de Sable et pour 2019 un bloc adjacent à l'ouest du Gully. L'exploration sismique future dans des zones extracôtières occupées par le crabe des neiges pourrait devoir évaluer les répercussions 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 N.-E. de la N.-É. Deux câbles sous-marins à haute tension à courant continu traversent maintenant environ 180 km entre le cap Ray, à Terre-Neuve-et-Labrador, et la pointe Aconi, en N.-É. (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 en travers de certains lieux de pêche du crabe des neiges les plus productifs du N.-E. de la N.-É. Les deux câbles de 4 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. Toutefois, 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). À l'heure actuelle, aucun renseignement ne peut être présenté pour décrire de façon absolue les effets de ces éléments sur le crabe des neiges. Une fois que les câbles seront sous tension, Emera effectuera un relevé dans l'habitat du crabe afin de confirmer l'intensité du champ électrique et du champ magnétique se trouvant autour des câbles. (J.-M. Nicholas, communication personnelle, EMERA Terre-Neuve et Labrador.)

Des efforts d'étiquetage supplémentaires sont entrepris dans ce domaine depuis 2013 (voir plus haut la section Déplacements). Il sera utile de comprendre les déplacements naturels du crabe des neiges à l'intérieur et à l'extérieur de cette zone avant l'installation du câble sous-marin.

Indicateurs socio-économiques

Un changement cohérent dans de nombreux indicateurs socio-économiques s'est produit au milieu des années 1990, en même temps que les changements à grande échelle dans l'écosystème du plateau néo-écossais (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 943 000 personnes en 2014, ainsi qu'une tendance vers une population ayant un niveau de scolarité plus élevé. Le PIB (produit intérieur brut) 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 davantage liés à la pêche, on note une importance accrue de la pêche aux invertébrés depuis la disparition du poisson de fond au début des années 1990, autant en ce qui concerne les débarquements totaux que les 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 poisson de fond ont diminué, passant de 281 kt en 1991 à 44 kt en 2015 pour la province de la Nouvelle-Écosse. De même, les débarquements de poissons pélagiques sont passés de 125 kt en 1990 à 51 kt en 2015. En revanche, les débarquements d'invertébrés sont passés de 111 à 262 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 1,2 milliard en 2015.

Les liens entre les changements socio-économiques observés et les changements dans l'écosystème du plateau néo-écossais 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 S.-E. de la N.-É. 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.

Aires marines protégées

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 interdisant la pêche est toujours positive, car ce dernier sert de zone de mise en jachère. Cependant, si la protection est bénéfique de façon disproportionnée pour d'autres organismes, qu'il s'agisse de prédateurs du crabe des neiges ou de proies, les effets sur le crabe des neiges peuvent être combinés. Les effets à long terme de la zone de protection marine ne peuvent donc pas être déterminés en ce moment.

Le relevé du crabe des neiges se poursuit dans les ZPM du banc de Sainte-Anne et du Gully 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.

PÊCHES

Effort

Dans le N.-E. de la N.-É., 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 saison (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 considérablement dans le N.-E. de la N.-É. en 2017 (figure 2) en raison de l'augmentation du TAC. L'effort de pêche de 2017 (figure 47) s'est de nouveau concentré sur la tranchée d'eau profonde située le long de la côte nord-est du Cap-Breton (« secteur intérieur ») avec un effort relatif accru dans la fosse de Glace Bay (comparativement à 2016). Pour la première fois depuis 2012, des activités de pêche (quoique limitées) ont eu lieu dans la partie la plus septentrionale du N.-E. de la N.-É. le long de la limite de la ZPC 19. Le nombre de navires actifs chaque saison dans le N.-E. de la N.-É. demeure relativement stable (figure 48).

Dans le S.-E. de la N.-É., l'effort de pêche continue d'être axé sur les lieux de pêche hauturiers (figure 47). Une grande partie de l'effort de pêche dans la ZPC 23 continue d'être concentrée sur les trous trouvés 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 zone de pêche du crabe (ZPC) 24 présentait un profil de pêche semblable à celui de l'année précédente, la pêche printanière se déroulant principalement au nord de l'île de Sable et entre les bancs Middle et Canso. 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. Il y a eu une absence presque complète d'effort dans la partie la plus à l'ouest (le long de la « côte est ») de la ZPC 24 (à l'ouest de 61,5⁰ Longitude) et dans le secteur à proximité de la baie Chedabucto.

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 S.-E. de la N.-É. avaient lieu avant le 1^{er} juillet, alors qu'aujourd'hui, plus de 50 % des débarquements totaux se produisent régulièrement au cours de cette période du printemps. La zone de pêche du crabe (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 plus touchée ou limitée par les fermetures printanières de la « boîte à crevettes ».

Dans le S.-E. de la N.-É., le nombre de navires actifs affiche une tendance 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 jeté, pêcher de façon stratégique pour éviter la capture de crabe à carapace molle et choisir de ne pas déclarer les crabes marqués essentiels aux études appropriées sur les déplacements. Le bateau choisi pour pêcher le quota d'un titulaire de permis peut être déterminé par le prix, avec peut-être moins d'intérêt pour l'expérience du capitaine et de l'équipage et d'égard pour la pêche axée sur la conservation.

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

En 2017, un total de 9 000 et 71 500 trajets de casiers ont été effectués dans le N.-E. et le S.-E. de la N.-É., respectivement. En 2016-2017, un total de 3 200 casiers levés ont été effectués dans la zone 4X (tableaux 2 à 4; figure 2).

Débarquements

En 2017, les débarquements du N.-E. et du S.-E. de la N.-É. ont atteint respectivement 813 t et 6 719 t, et les débarquements de la ZPC 4X ont atteint 80 t pour la saison 2016-2017, ce qui représente une augmentation de 280 % (N.-E. de la N.-É.) et des diminutions de 30 % (S.-E. de la N.-É.) et de 47 % (zone 4X) par rapport à l'année précédente (figures 3 et 49). Les totaux autorisés de captures de 2017 étaient de 825 t, 6 730 t et 80 t dans le N.-E. de la N.-É., le S.-E. de la N.-É. et la zone 4X, respectivement. La majorité des débarquements du N.-E. de la N.-É. provenaient de la tranchée intérieure. La zone de pêche du crabe (ZPC) 23 a connu une répartition des débarquements entre la zone côtière et la zone extracôtière, la plus forte concentration de débarquements se trouvant au large. Les zones semi-hauturières et extracôtières de la ZPC 24 représentaient la majorité des débarquements en 2017. Dans la zone 4X, les débarquements (2016-2017) ont été capturés exclusivement vers la délimitation entre la zone 4X et la ZPC 24 (figure 49).

Taux de prise¹

Les taux de prises ont diminué dans toutes les ZPC par rapport à l'année précédente. En 2017, les taux de prise non normalisés étaient de 90 kg/casier levé dans le N.-E. de la N.-É., de 94 kg/casier levé dans le S.-E. de la N.-É., et de 25 kg/casier levé dans la ZPC 4X en 2016-2017, ce qui représente respectivement des diminutions de 18 %, de 11 % et de 19 % par rapport à l'année précédente (figure 4; tableaux 2 à 4). 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 N.-E. de la N.-É., les taux de prises de 2017 étaient de 90 kg/casier, une diminution par rapport à 2016 (110 kg/casier). Les taux de prises du N.-E. de la N.-É. demeurent bien au-dessus de la moyenne sur 15 ans (76 kg/casier; tableau 2; figure 4). Les taux de prises dans le N.-E. de la N.-É. sont très semblables à ceux observés dans le S.-E. de la province depuis 2011. Les taux de prises dans le N.-E. de la N.-É. étaient universellement plus élevés dans la région de la fosse de *Glace Bay* que dans la région « intérieure » où les taux de prises étaient plus variables (figure 50). 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*, pouvait avoir un impact négatif sur les taux de prises. Avant 2011, les taux de prises dans le N.-E. de la N.-É. étaient souvent très variables dans l'ensemble de la région, avec des poches de taux de prises élevés ou faibles. Les taux de prises de la pêche estivale ont été stables au fil du temps et légèrement inférieurs à ceux de la pêche printanière en 2016 et 2017 (figure 51). Les taux de prises de la pêche printanière de 2017 ont affiché une tendance à la hausse avec le temps, alors qu'ils ont diminué au cours de la pêche printanière. Il est important de noter que le maintien de taux de prises élevés dans le N.-E. de la N.-É. depuis 2011 est en partie attribuable à l'augmentation de la taille moyenne des prises de crabe plutôt qu'à l'abondance numérique (figure 52). Les pêcheurs du N.-E. de la N.-É. estiment que le maintien de taux de prises élevés depuis 2011 indique une biomasse de crabe commercial beaucoup plus importante que ne l'indique nécessairement l'estimation de la biomasse fondée sur une enquête. Ils estimaient que la discordance entre le moment de l'enquête (automne) et celui de la pêche (axée sur le printemps) était à l'origine de cet écart.

Dans le S.-E. de la N.-É., les taux de prises de 2017 étaient de 94 kg/casier, une diminution par rapport aux taux de 2016 (106 kg/casier) et sous la moyenne sur 15 ans de 101 kg/casier (tableau 3; figure 4). Les taux de prises ont diminué à partir de 2016 dans chacun des deux ZPC du S.-E. de la N.-É., soit la ZPC 23 et la ZPC 24. La zone de pêche du crabe (ZPC) 23 a connu des taux de prises annuels plus élevés depuis 2009, mais a connu une baisse plus marquée que la ZPC 24 en 2017. Les taux de prises étaient uniformément modérés/élevés dans la majorité des zones de pêche exploitées dans le S.-E. de la N.-É., les taux de prises étant plus élevés dans les trous d'eau profonde entre les bancs *Misaine*, *Banquereau* et *Middle* (figure 50). L'absence de taux de prises localisées très faibles donne à penser que les pêcheurs déterminaient efficacement les zones d'abondance élevée et, par conséquent, qu'ils évitaient généralement 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 disponibles pendant les activités de pêche du printemps. L'examen des taux de capture hebdomadaires au cours de la saison 2017 (figure 51) révèle une tendance cyclique dans la ZPC 23, avec une augmentation des taux de capture au cours des sept premières semaines de la saison suivie

¹ Veuillez vous rappeler les mises en garde concernant le fait que les taux de prise sont des indicateurs inappropriés de la biomasse exploitable, comme nous l'avons mentionné dans la section Méthodes ci-dessus.

d'une tendance générale à la baisse avec une résurgence marquée avec l'ouverture des « boîtes à crevettes » et une tendance à la baisse après cette période. Toutefois, la ZPC 24 montre une tendance assez constante du taux de capture au cours de la saison. Cela suggère que les taux de capture de la ZPC 23 sont plus touchés par l'accès limité aux zones de pêche causé par la fermeture saisonnière des « boîtes à crevettes ». Il est important de noter que dans toutes les régions, il est courant de constater une forte divergence entre le taux de capture et la tendance de la saison au cours des dernières semaines de la saison. On suppose que cela est dû à l'absence quasi totale d'efforts et de débarquements pendant cette période. Certaines prises dans les casiers ne sont pas conservées lors de la dernière sortie, car les quotas individuels ont été atteints.

Dans la zone 4X, les taux de prises de 2016-2017 étaient de 25 kg/casier (tableau 4; figure 4), soit une diminution de 19 % par rapport au taux de prises de 2015-2016, avec une moyenne sur 14 ans de 26 kg/casier. Les taux de capture pour la saison en cours ont diminué considérablement par rapport à la saison 2016-2017 et se situent au niveau le plus bas depuis 2003. Les taux de prises dans la zone 4X sont constamment bien inférieurs à ceux du N.-E. et du S.-E. de la N.-É., même pour la période de faible abondance de 2005-2008 dans le N.-E. Les taux de prises hebdomadaires dans la zone 4X (figure 51) montrent généralement une tendance oscillante au cours de la saison. Cette oscillation est très 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 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 prises.

Présence d'observateurs en mer

Dans le N.-E. de la N.-É., la couverture des observateurs en mer était supérieure au niveau cible de 5 % du TAC, soit 5,7 %. Au total, on a observé 443 casiers levés (environ 4,9 % des casiers levés commerciaux). Dans le S.-E. de la N.-É., on a observé 5,7 % du TAC (avec un niveau cible de 5 %). Au total, 757 casiers (environ 1,1 % des casiers levés commerciaux) ont été observés. Dans la zone 4X, on a observé 6,2 % du TAC, par rapport à un niveau cible de 10 %. On a observé au total 425 casiers, soit 6 % des casiers levés commerciaux.

Crabe à carapace molle et crabe devenu adulte (CC1 et CC2)

Dans le N.-E. de la N.-É., les crabes des catégories CC1 et CC2 représentent collectivement environ 11,5 % du total des captures (tableau 12; figure 53), comparativement à 1,8 % en 2016. 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 et d'une très faible abondance d'animaux recrutés pour la pêche. Les crabes des catégories CC1 et CC2 observés ont été capturés dans le cadre de la pêche estivale en 2017. Il a été suggéré de façon anecdotique qu'il y avait une incidence plus élevée de crabes à carapace molle dans la pêche estivale, résultat d'un appauvrissement localisé de mâles plus forts et à carapace dure, et d'une capacité de capture accrue des mâles à nouvelle carapace en raison du manque de concurrence et d'inhibition. Cette augmentation de l'apparition de crabes des catégories CC1 et CC2 appuie les données probantes du relevé au chalut de l'année précédente indiquant que le front de la vague de recrutement allait se manifester dans l'industrie de la pêche. Il y a eu une augmentation de la proportion de crabes de la catégorie CC4 dans le volet observé de la pêche, et cette augmentation permet d'appuyer

davantage le manque de recrutement au cours des quelques saisons précédentes. Les niveaux d'individus CC5 restent négligeables.

Une incidence extrêmement faible de prises de crabes à carapace molle (par rapport à des niveaux très élevés en 2005-2008) a été observée dans les pêches du printemps et de l'été dans le N.-E. de la N.-É. (figure 54). Si l'on suppose 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 39 t supplémentaires (environ 5 % des débarquements) qui sont rejetées comme crabe à chair molle avec des mortalités potentiellement élevées dues à la manipulation. Il s'agit d'une augmentation de l'incidence du crabe à carapace molle par rapport à 2016 (environ 1 %). La poursuite des efforts de pêche au printemps et une période de pêche estivale plus courte contribueront probablement à contrôler la mortalité totale potentielle du crabe à carapace molle au cours des prochaines saisons. Cela est particulièrement important pour protéger toute augmentation future du recrutement interne dans la pêche à partir de la population de crabes du N.-E. de la N.-É.

Dans le S.-E. de la N.-É., 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 est passée de 3,6 % en 2016 à 6,3 % en 2017. Les prises observées d'un pourcentage élevé de crabes à carapace molle (>20 % en nombre) étaient rares dans l'ensemble du S.-E. de la N.-É. en 2016. Si l'on répartit les débarquements observés au prorata des débarquements totaux dans le S.-E. de la N.-É., cela équivaut à une mortalité additionnelle potentielle de 101 t (1,5 % des débarquements). 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. Malheureusement, cela n'est pas toujours le cas. Il y a un risque de malentendu puisque les quotas sont vendus par l'intermédiaire de transformateurs et d'autres courtiers et pêchés par des personnes qui ne possèdent pas de quota personnellement et qui, par conséquent, n'ont aucun enjeu à long terme dans cette pêche. Toutes les personnes qui participent à tous les niveaux de la pêche doivent être conscientes des dommages potentiels causés par la manipulation du crabe à carapace molle.

Dans la zone 4X, pour la saison 2016-2017, les crabes des catégories CC1 et CC2 représentaient collectivement environ 18 % 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 commerciales, les crabes des catégories CC3 et CC4 étaient largement plus nombreux, avec un taux combiné d'environ 80 %. On croit qu'un épisode d'eaux particulièrement chaudes en 2013-2013 pourrait avoir été très préjudiciable à la population de crabes des neiges dans la zone 4X. La mortalité causée par ce réchauffement continue probablement d'influencer la composition des espèces dans la division 4X. Les données de la zone 4X ne peuvent pas être comparées directement avec celles de l'est de la Nouvelle-Écosse (ENÉ), car la saison de pêche de cette région n'a pas lieu en même temps que celle du N.-E. et du S.-E. de la N.-É. La pêche en automne et en hiver dans la ZPC 4X continue de donner des quantités négligeables de crabes à carapace molle.

Vieux crabe (CC5)

Le crabe de catégorie CC5 représentait une faible proportion des prises observées en mer en 2016 dans les fractions de taille réglementaire et sous-réglementaire, soit moins de 1 % dans toutes les zones (tableaux 12 à 14). Des proportions de crabe de catégorie CC5 aussi faibles qu'indétectables ont été observées dans les relevés au chalut (tableaux 15 à 17). L'augmentation des niveaux de crabe sénéscent (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 DES RESSOURCES

STRUCTURE DE TAILLE

Dans le S.-E. de la N.-É., la présence de petits crabes des neiges mâles immatures de presque toutes les tailles (de 30 à 95 mm de LC) observés par le relevé suggère que le recrutement dans la pêche est probable au cours des 4 à 5 prochaines années et au-delà (figure 55). L'absence presque totale de crabes mâles dont la taille est inférieure à 20 mm de LC dans le S.-E. de la N.-É. pourrait être due à une faible abondance ou à une faible capturabilité à cette petite taille.

Dans le N.-E. de la N.-É., la répartition de la taille des crabes mâles semble très semblable à celle de 2016, mais on constate moins d'animaux adultes de grande taille. L'écart de recrutement (entre les crabes mâles immatures et matures) observé dans les fréquences de longueur des crabes mâles depuis 2013 a finalement disparu. Le front d'une vague de recrutement entre maintenant dans la pêche, bien qu'à des niveaux faibles. On s'attend à ce que le recrutement à l'interne pour la pêche se poursuive au cours des quatre prochaines années, bien que l'on soupçonne que la mortalité naturelle élevée du crabe des neiges dans le N.-E. de la N.-É. pourrait limiter ce recrutement.

La zone 4X montre un potentiel minimal de recrutement interne pour la pêche d'après la répartition des fréquences de tailles du relevé au chalut. On a observé très peu de crabes des neiges commerciaux dans le relevé du crabe des neiges dans la zone 4X. Les déplacements ont probablement 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 division 4X. Comme toujours, les champs de température erratiques et les restrictions connexes de l'habitat viable du crabe des neiges dans la zone 4X créent de fortes incertitudes pour l'avenir.

Le front d'une vague de recrutement a causé une importante augmentation du nombre de crabes femelles adultes dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse en 2016 (figure 56), puis une nouvelle fois en 2017. Cette maturation à grande échelle des crabes femelles devrait se poursuivre au cours de l'année, voire des deux années à venir. Le S.-E. de la N.-É. a également montré une autre augmentation chez les femelles adultes, mais à des densités inférieures à celles du N.-E. de la province. Bien qu'il n'y ait qu'un nombre limité de crabes femelles dans la zone 4X, la plupart ont maintenant atteint la maturité. Le fait d'être en aval de toutes les autres zones de crabe augmente les chances d'établissement des larves dans la zone 4X, quelle que soit la population résidente de femelles adultes. Il convient de noter que 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.

Les distributions de la fréquence des tailles des mâles dans la zone 4X semblent très irrégulières, et moins constantes annuellement que dans le N.-E. et le S.-E. de la N.-É. Les grandes fluctuations de température et les différents champs de prédateurs associés aux eaux plus chaudes de la région, ainsi que les mouvements possibles avec la ZPC 24, entraînent probablement l'instabilité de ces structures de taille. Les déplacements du crabe à partir d'endroits traditionnels dans la zone 4X, en réaction à de tels changements de température et de prédation, peuvent fausser les résultats des relevés interannuels.

SEX-RATIOS

Lorsque le nombre relatif de femelles adultes est élevé, la possibilité d'une limitation de la reproduction devient un problème de conservation. C'est particulièrement le cas 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 (p. ex. la période prolongée observée au début des années 2000 dans la PNE), la production d'œufs et de larves est faible. On ignore ce qui a pu causer cette période prolongée de faible potentiel reproducteur dans l'est de la province, d'autant plus que cette pêche ne vise que les mâles. Cela peut s'expliquer par les pressions de prédation différentielles pour les mâles et les femelles, car ils sont spatialement séparés dans leurs stades immatures et parce qu'ils sont aussi sexuellement dimorphes. Quelle qu'en soit la cause précise, le sex-ratio extrême représente un état reproductif malsain et, par conséquent, 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.

Il est fort probable que le sex-ratio fluctuera naturellement avec le temps (figure 57). Cela s'explique par le fait que les crabes des neiges femelles d'une classe d'âge donnée arriveront à maturité de deux à quatre ans plus tôt que les crabes des neiges mâles 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 seront particulièrement évidentes lorsque de fortes classes d'âge dominant une population, comme ce fut le cas dans la PNE. Dans la PNE, les sex-ratios du crabe des neiges adulte oscillent avec des nombres relativement élevés de femelles en 1996, 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). Depuis 2007, les sex-ratios du crabe des neiges du S.-E. et du N.-E. de la N.-É. ont diminué, bien que les deux derniers relevés aient révélé des sex-ratios supérieurs à ceux des sept années précédentes. Cette augmentation reflète la diminution de la population de mâles et, dans une plus grande mesure, l'augmentation du nombre de femelles adultes. Le sex-ratio des crabes adultes de la zone 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 les sex-ratios d'individus immatures tout en augmentant les sex-ratios d'individus adultes. Les profils spatiaux des sex-ratios sont généralement distincts entre les zones hauturières et les zones côtières : les mâles immatures sont plus nombreux (en bleu) dans la plupart des zones de l'est de la N.-É., tandis que les femelles immatures (en rouge) sont plus nombreuses dans les zones bordées d'eau chaude, comme la partie ouest de la ZPC 24 et le long des côtes est et sud-ouest de la Nouvelle-Écosse (figure 60). Lorsqu'une telle ségrégation spatiale est observée, les sexes 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 FEMELLES²

Les tendances du 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 N.-E. de la N.-É., la densité de crabes femelles immatures augmente de façon constante depuis 2009-2014 et est en baisse depuis. La maturation de ces crabes immatures a commencé en 2015 et s'est poursuivie en 2017, réduisant la composante immature de la population féminine (figure 61), mais augmentant la composante mature (figure 63). D'après la structure de la taille de la population, on s'attend à une augmentation de l'abondance des femelles adultes au cours de l'année, voire des deux années à venir, comme on l'a observé au cours de la période de 2004 à 2007.

Dans le S.-E. de la N.-É., le crabe femelle immature a atteint des sommets historiques en 2006. Depuis 2010, on observe une tendance générale à la baisse chez les crabes femelles immatures (figure 61). Toutefois, on observe une tendance à la baisse du nombre de crabes des neiges femelles adultes dans le S.-E. de la N.-É. de 2008 à 2015 (figure 63). Comme dans le N.-E. de la N.-É., la maturation d'une forte proportion de crabes femelles a commencé en 2016 et on s'attend à ce que le nombre de crabes femelles adultes augmente encore pendant un à deux ans (figure 56).

Les femelles immatures de la zone 4X ont chuté de façon spectaculaire depuis un sommet extrême en 2010. Le nombre de crabes femelles immatures demeure faible. La portion adulte de l'abondance des femelles a légèrement augmenté depuis 2016 (figure 63).

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 extracôtiers (figures 62 et 64). Chez la femelle, le crabe des neiges immature semble avoir une répartition plus diffuse que le crabe adulte (figures 62 et 64).

La maturation des crabes femelles immatures dans le N.-E. et le S.-E. de la N.-É. en 2016 et 2017 a accru la production potentielle d'œufs (figure 66). On s'attend à ce que la production d'œufs continue d'augmenter pendant deux à quatre ans à mesure que davantage d'animaux immatures atteignent la maturité sexuelle et parce qu'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 des relevés de la moyenne géométrique de crabe des neiges commercial (mâles, adultes >95 mm de LC). L'approche **stmv** produit des estimations de la biomasse de la zone grâce à l'expansion aérienne des prises des relevés (figure 68). Dans le N.-E. et le S.-E. de la N.-É., les densités de biomasse exploitable les plus élevées semblaient moins concentrées en 2017 qu'en 2016 (figure 69). Dans la zone 4X, la poche de crabe exploitable restante est très proche de la délimitation entre la zone 4X et le S.-E. de la N.-É. (figure 69).

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 (et le

² 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.

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 avec certitude 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 modéré au cours de la prochaine année pour la pêche dans le N.-E. et le S.-E. de la Nouvelle-Écosse (figures 55 et 70). Le taux recrutement interne dans la zone 4X devrait être très faible. 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.

En ce qui concerne la structure par taille (figure 55) dans le S.-E. et le N.-E. de la N.-É., la présence de petits crabes des neiges mâles immatures de presque toutes les tailles (LC de 30 à 95 mm) observés par le relevé semble également indiquer que le recrutement interne pour la pêche est probable pour les quatre ou cinq prochaines années. La survie de ces petits animaux est essentielle afin que la pêche puisse réaliser ce recrutement. Toute mortalité (prédation, environnement, maladie, etc.) ou émigration peut se répercuter sur ce potentiel de recrutement.

La zone 4X montre un potentiel minimal de recrutement interne pour la pêche pour les deux à trois prochaines années, d'après la répartition des fréquences de tailles du relevé au chalut. Les déplacements ont probablement 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 division 4X. Comme toujours, l'irrégularité des températures dans la zone 4X crée de fortes incertitudes pour l'avenir.

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 détails). 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 0,917 pour le N.-E. de la N.-É., de 0,795 pour le S.-E. de la N.-É. et de 0,712 pour la zone 4X (figure 72), tandis que la capacité de charge (figure 74) pour le S.-E. de la N.-É. (68,71 kt) est environ 10 fois plus élevée que pour le N.-E. de la N.-É. (5,651 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 N.-E. et le S.-E. de la N.-É. avec des estimations respectives de 0,507 et 0,878 (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 la PME du F_{RMS} étaient de 0,459 pour le N.-E. de la N.-É., de 0,397 pour le S.-E. de la N.-É. et de 0,356 pour la zone 4X (figure 76).

BIOMASSE EXPLOITABLE

L'indice de la biomasse exploitable modélisée du crabe des neiges (figure 77) après la saison de pêche dans le nord-est de la Nouvelle-Écosse était estimé à 3 140 t, par rapport à 2 794 t en 2016. Dans le S.-E. de la N.-É., l'indice de biomasse exploitable après la saison de pêche était de 37 640 t, par rapport à 40 100 t en 2017. Dans la zone 4X, la biomasse exploitable modélisée avant la saison de pêche était de 120 t, par rapport à 149 t en 2016-2017. L'estimation de la biomasse dans la zone 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 extrêmes et de la migration potentielle à l'intérieur et à l'extérieur de la zone.

MORTALITÉ PAR PÊCHE

Le taux de mortalité par pêche (F) dans le N.-E. de la N.-É. a été estimé, en 2017, à 0,18 (taux d'exploitation de 0,16), soit une diminution par rapport à celui de 0,33 de 2016, ce qui est inférieur à la moyenne à long terme (figure 78).

Le taux de mortalité par pêche (F) dans le S.-E. de la N.-É. a été estimé, en 2017, à 0,25 (taux d'exploitation de 0,22), soit une diminution par rapport à celui de 0,23 de 2016, ce qui est supérieur à la moyenne à long terme (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.

Le taux de mortalité par pêche (F) dans la zone 4X a été estimé, en 2016-2017, à 0,36 (taux d'exploitation de 0,30), soit une nette diminution par rapport à celui de 0,22 de 2015-2016, ce qui est supérieur à la moyenne à long terme (figure 78). Il est probable que les taux d'exploitation obtenus soient plus élevés, étant donné que les taux d'exploitation estimés tiennent compte de la biomasse dans l'ensemble de la division 4X et pas uniquement dans les lieux de pêche.

MORTALITÉ NATURELLE

Wade *et al.* (2003) ont indiqué que les taux de mortalité instantanée du crabe des neiges mâle du sud du golfe du Saint-Laurent de moins de 95 mm de LC 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 au 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 mâles adultes. Les études sur l'alimentation (Bundy, 2004; voir aussi la section Contrôle descendant (prédation)) indiquent qu'il semble y avoir très peu de prédateurs naturels pour les grands crabes des neiges (c.-à-d. de taille réglementaire) sur la PNE. C'est particulièrement le cas depuis la disparition de la plupart des grands poissons de fond prédateurs corpulents de la partie est de la PNE. Bien que des rapports récents suggèrent une augmentation de l'abondance relative des prédateurs du crabe des neiges, ces niveaux demeurent une faible proportion des rapports historiques (figures 23 à 36). Cela peut avoir une incidence particulière sur le recrutement, le crabe juvénile et le crabe larvaire et peut contribuer à des densités de crabe des neiges immatures plus faibles que celles observées en 2007-2010.

Parmi les autres facteurs de mortalité potentiels, mentionnons : la maladie (comme la maladie du crabe amer, dont on constate la présence sur la PNE à de faibles niveaux depuis 2008); les phoques (près de l'île de Sable; voir les arguments contraires dans les considérations écosystémiques ci-dessus); la mortalité due à la manipulation des carapaces molles; 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); et 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 au câble sous-marin ou à l'installation de pipelines.

APPROCHE DE PRÉCAUTION

Dans le cadre de la gestion des ressources naturelles, l'approche de précaution (AP) désigne l'importance accordée à la prise de décisions éclairée en tenant compte des incertitudes et en évitant les décisions risquées. Cela s'explique par le fait que les écosystèmes naturels sont intrinsèquement complexes, et que des choses inattendues peuvent se produire, et se produisent effectivement souvent (p. ex. Choi et Patten, 2001). Des détails sur l'approche de précaution et des mises en garde relatives à sa mise en œuvre sous la forme de « règles de contrôle des prises » simplistes sont présentés à l'annexe 2.

Les principaux outils de gestion des pêches sont le contrôle de l'effort de pêche et le contrôle des récoltes. En général, si l'on réduit les prises et l'effort de pêche, l'état des stocks et/ou la situation de l'écosystème devraient s'améliorer. Bien que ce ne soit pas toujours le cas (annexe 2), le MPO utilise officiellement ces mesures en déterminant des points de référence et des règles de contrôle des prises.

POINTS DE RÉFÉRENCE ET RÈGLES DE CONTRÔLE DES PRISES

La population de crabe des neiges dans 4VWX n'est pas 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 Méthodes; figures 71 à 76).

Les points de référence opérationnels associés à la pêche au crabe des neiges dans les divisions 4VWX sont les suivants :

- **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 le F_{RMS} (où F représente la mortalité par pêche de la population de mâles adultes de taille commerciale réglementaire et RMS , le rendement maximal soutenu).
- **Taux d'exploitation de référence cible** : 20 % de la biomasse exploitable ($F = 0,22$).
Deuxièmement, les indicateurs contextuels 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 les suivantes :

- Biomasse exploitable > point de référence supérieur du stock : un taux d'exploitation cible entre 10 % et 30 % sera 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 % sera 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).

À partir des résultats du modèle logistique, les estimations actuelles de la capacité de charge pour la biomasse exploitable de crabe des neiges {et l'intervalle de confiance à 95 %} sont les suivantes :

- N.-E. de la N.-É. : 5,65 {4,04, 7,91} kt

-
- S.-E. de la N.-É. : 68,71 {53,26, 89,07} kt
 - 4X : 1,82 {1,09, 2,89} kt

Estimations de la F_{RMS} {et intervalle de confiance à 95 %} :

- N.-E. de la N.-É. : 0,459 {0,211, 0,695}
- S.-E. de la N.-É. : 0,397 {0,257, 0,598}
- 4X : 0,356 {0,191, 0,551}

Les estimations pour 4X devraient être considérées comme très incertaines en raison de la brièveté des séries de données et de la nature incertaine de leurs distributions des erreurs.

Priorités de recherche futures associées aux points de référence

De nombreuses sources d'incertitudes et de défis sont associées 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 sont complètement ignorées. Il s'agit d'un modèle « tactique » pour les projections à court terme plutôt qu'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 zone : la période précédant l'effondrement des poissons de fond et la période subséquente empêchent d'émettre une estimation K (capacité de charge) avec les 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 empêche d'émettre des 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 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 d'émettre une hypothèse sur un taux de mortalité naturelle constant/taux de croissance intrinsèque.
- Selon des sources 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 environnementale sur les cycles biologiques (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 variables r , K .
 - Déterminer les lieux de frai et d'alevinage essentiels.
 - Peaufiner les estimations sur la production de larves.
 - Décrire le mouvement 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.

La création de l'approche **lbm** (aujourd'hui **stmv**) était une tentative pour résoudre certains des problèmes ci-dessus. Des efforts supplémentaires seront déployés pour améliorer cette nouvelle orientation de l'évaluation des stocks.

RECOMMANDATIONS

REMARQUES GÉNÉRALES

1. La capture de crabe à carapace molle a été faible au cours des dernières saisons. Toutefois, il s'agit toujours d'une question qui exige une diligence continue sur la PNE. Le calendrier des efforts de pêche peut aider à éviter les périodes traditionnellement associées à des captures élevées de crabe à carapace molle (pêche hivernale et printanière). Dans le S.-E. de la N.-É., ce n'est pas toujours le cas, et 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, des cartes à carapace molle ont été mises en œuvre sous forme de cartes interactives GoogleEarth™ que l'on peut trouver sur le [site Web du crabe des neiges de l'est de la Nouvelle-Écosse](#).
2. La longévité de la biomasse exploitable (et, par conséquent, la stabilisation de la pêche) peut être améliorée en pêchant uniquement du crabe mature du point de vue morphométrique. Les arguments en faveur de cette approche sont les suivants :
 - a. La pêche du crabe adulte leur permettrait de s'accoupler puisque la saison de pêche est généralement postérieure à la saison de reproduction (dans l'est de la N.-É., mais pas dans la zone 4X). Ceci a pour résultat important de réduire la sélection naturelle darwinienne pour une maturation précoce, ce qui 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 une pêche à maturité 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 plus optimale (crabes des catégories CC3 et CC4), en ce sens 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 maturation (une augmentation de 250 à 400 %; figure 7).

Au cours de la saison 2017, une partie des crabes mâles de plus de 95 mm de LC seront encore composés d'individus immatures (figure 55). En effet, 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 judicieuse.

3. Des rapports anecdotiques indiquent que des activités de pêche illégales et des déclarations erronées de prises continuent de se produire, surtout dans le S.-E. de la N.-É. 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 la prédation. De telles activités déstabilisent l'approche de précaution à l'égard de la gestion des ressources et peuvent annuler les sacrifices consentis par l'industrie 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. La poursuite des tendances à la hausse des températures pourrait nuire à la santé générale et à l'abondance du crabe des neiges sur la PNE. Cela peut créer une mortalité directe ou une émigration forcée dans les conditions les plus extrêmes ou des changements de régime de l'écosystème nuisent à la disponibilité des proies, à l'abondance des prédateurs, aux processus biologiques, etc. De tels changements influent sur le rôle relatif du crabe des neiges dans l'écosystème et auraient des effets au niveau de la population.
5. 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 (« **l_{bm}** ») pour l'évaluation de 2016 (relevé de 2016; pêche de 2017) a fourni des estimations de biomasse dont le comportement était irrégulier (fluctuations interannuelles importantes, etc.). L'affinement de l'approche stmv actuelle a simplifié les entrées du modèle (limitant le nombre d'entrées environnementales) et a ajouté un niveau de lissage temporel local. Les auteurs estiment que ces résultats sont des estimations plus raisonnables de l'abondance.

SUD-EST DE LA NOUVELLE-ÉCOSSE (S.-E. DE LA N.-É.)

L'approche de précaution à long terme adoptée par les pêcheurs du S.-E. de la N.-É. depuis 2004 semble avoir établi une stabilité accrue dans les niveaux de biomasse commerciale. Cette stabilité est un élément important, compte tenu de l'incertitude persistante dans les marchés internationaux et du caractère plus instable des populations mondiales de crabes des neiges.

Pendant de nombreuses années, un régime de productivité élevé associé au crabe des neiges a créé une situation où les prélèvements de la biomasse exploitable (de façon naturelle et par la pêche) étaient plus que reconstitués chaque année. Les taux d'exploitation « cibles » avant la saison de la pêche dans le S.-E. de la N.-É. étaient souvent plus élevés que les taux d'exploitation « obtenus » après la saison de la pêche. Plus récemment, la réduction du recrutement et les conditions environnementales et écosystémiques moins favorables ont fait en sorte que les prélèvements excèdent le recrutement prévu relativement à la biomasse exploitable. Les réductions du TAC qui se sont produites au cours des deux dernières saisons

n'ont pas eu pour effet de diminuer les estimations de la mortalité par pêche. En dépit de ces réductions, l'indice de la biomasse exploitable a continué de diminuer. Cela nécessite l'adoption d'une approche plus prudente en ce qui a trait aux taux d'exploitation cibles.

La population du S.-E. de la N.-É. est dans la « zone saine » (biomasse exploitable > point de référence supérieur du stock; figure 80). Les estimations actuelles concernant la biomasse exploitable sont inférieures à la moyenne à long terme. Comme un recrutement est prévu au moins pour les trois ou quatre prochaines années, une marge de souplesse demeure. On recommande une réduction modérée du TAC.

NORD-EST DE LA NOUVELLE-ÉCOSSE (N.-E. DE LA N.-É.)

Dans le N.-E. de la N.-É., 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 aux manipulations dans le passé. La capture des crabes à carapace molle a été presque éliminée, aidant ainsi à protéger le recrutement. La méthode de modélisation de l'évaluation précédente a fourni des estimations de la biomasse pour le N.-E. de la N.-É. qui ont grandement fluctué au fil des années et qui étaient plus élevées que ce qui avait été estimé auparavant. Le peaufinage de la méthode de modélisation de cette évaluation a permis de modérer les variations d'une année à l'autre en vue d'obtenir des estimations plus crédibles. Grâce à cette amélioration, les estimations de l'indice de biomasse exploitable modélisée sont inférieures à celles des dernières évaluations, ce qui laisse entendre que l'augmentation de près de 300 % du TAC de 2017 était trop agressive.

La population du N.-E. de la N.-É. est dans la « zone saine » (biomasse exploitable > point de référence supérieur du stock; figure 80). Les estimations actuelles concernant la biomasse exploitable sont inférieures à la moyenne à long terme. Le recrutement devrait se poursuivre au cours des prochaines années, mais les attentes en matière de recrutement dans le N.-E. de la N.-É. ne se sont pas toujours concrétisées, probablement en raison de l'émigration, de prédation élevée ou d'autres sources de mortalité. On recommande une réduction modérée du TAC.

ZONE 4X

Puisque la zone 4X est la zone la plus méridionale 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 à l'égard de cette pêche est essentielle. En outre, l'incertitude associée à cette zone est augmentée à raison du très faible recrutement à la biomasse exploitable et de grandes variations de température interannuelles. L'épisode d'eaux particulièrement chaudes de 2012-2013 a grandement nui à la population de crabes des neiges dans la ZPC 4X. En effet, ceux-ci n'ont pas encore retrouvé leurs niveaux d'abondance précédents. L'ancienne méthode d'évaluation nous a fourni des estimations de l'indice de la biomasse exploitable qui semblent trop irrégulières et non réalistes, et pour ce qui est de la ZPC 4X, trop optimistes selon la méthode de modélisation actuelle et le rendement de la pêche.

Les méthodes d'évaluation actuelles indiquent que le stock demeure dans la « zone critique » (biomasse exploitable < point de référence inférieur du stock, figure 80).

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent d'abord à remercier Grover Fisheries Ltd, le capitaine John Baker et l'équipage du *F/V Ms. Jessie* pour avoir fourni un environnement sûr et accueillant pour la

réalisation du relevé et leur expérience considérable en matière de pêche et de relevés. Les auteurs remercient également Tobie Surette et Stephanie Boudreau, de la région du Golfe du MPO, qui ont effectué un examen par les pairs approfondi. 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 (CFAs 20 to 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 Centre; 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.A., and Worm, B. 2012. Ecological Role of Large Benthic Decapods in Marine Ecosystems: A Review. Mar. Ecol. Prog. Ser. 469: 195-213.
- 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.
- 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 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 Molt in Snow Crab (*Chionoecetes opilio*) Along West Greenland. *Polar Biol.* 2010 33: 775.
- 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* 7:163-177.
- Choi, J.S., and Zisserson, B.M. 2012. Assessment of Scotian Shelf Snow Crab in 2010. Fisheries and Oceans Canada. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2011/110.
- 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.
- CNSOPB (Canada-Nova Scotia Offshore Petroleum Board). 2017. Lands Management: Call for Bids Forecast Areas (2017–2019): Call for Bids Forecast Areas (2015-2017). [Retrieved from CNSOPB Call for Bids NS17-1](#).
- 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.
- 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., Mullaney, 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.

-
- 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.
- Diamond, J.M. 2005. *Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed*. Penguin, New York, NY. 608 p.
- Diggle P.J., Ribeiro P.J., 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.
- Elnor, R.W., and Beninger, P. 1995. Multiple Reproductive Strategies in Snow Crab, *Chionoecetes opilio*: Physiological Pathways and Behavioural 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 Elnor, 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., 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.
- 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: 235-247.
- Kuhn, P., and Choi, J.S. 2011. Influence of Temperature on Embryo Developmental Cycles and Mortality of Female *Chionoecetes 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., Mallowney, 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, 2004. Conditions chimiques et biologiques de l'océan en 2002 – Région des Maritimes. MPO – Sciences, Rapport sur l'état des stocks 2004/2003.
- MPO, 2006. Stratégie de pêche en conformité avec l'approche de précaution de précaution. Secr. Can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2006/023.
- MPO. 2017. 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. 2017. Évaluation de la crevette nordique de l'est du plateau néo-écossais (ZPC 13-15). Secr. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2017/005.
- MPO. 2017. 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. 2017. Conditions océanographiques dans la zone atlantique en 2016. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2017/031.
- 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.
- 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. 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. 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., and Hazel, F. 1992. Molting and Mating of Snow Crabs, *Chionoecetes opilio*, in Shallow Waters of the Northwest Gulf of St. Lawrence. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 1282–1293.
- 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., 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., Gosselin, T., Sevigny, J.M., 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.
- 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.
- STAN (Stan Development Team). 2015. [Stan Modeling Language User's Guide and Reference Manual](#), Version 2.9.0.
- 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. [Report 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, the Rio Declaration 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 \(in Force as of From 11 December 2011\)](#). Division for Oceans Affairs and the Law of the Sea, Office of Legal Affairs, United Nations. A/CONF.164/37. (Accessed September 4, 2018).
- 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).
- 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).
- 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.
- 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.
- Watson, J. 1972. Mating Behaviour of the Spider Crab, *Chionoecetes opilio*. J. Fish. Res. Board Can. 29: 447-449.
- 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.
- 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 2017.

Zone	Saison
N.-E. de la N.-É.	Du 15 avril au 14 mai et du 22 juillet au 22 août
S.-E. de la N.-É. (ZPC 23)	Du 28 mars au 31 août
S.-E. de la N.-É. (ZPC 24)	Du 28 mars au 31 août
4X	Du 7 novembre (2017) au 31 mars (2018)

Tableau 2 : Résumé des activités de pêche du crabe des neiges dans le N.-E. de la N.-É.

Année	Permis	TAC (t)	Débarquements (t)	CPUE (kg/casier levé)	Effort (x 1 000 casiers levés)
2003	80	1 493	1 492	77	19,4
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

Tableau 3 : Résumé des activités de pêche du crabe des neiges dans le S.-E. de la N.-É.

Année	Permis	TAC (t)	Débarquements (t)	CPUE (kg/casier levé)	Effort (x 1 000 casiers levés)
2003	145	9 113	8 836	99	89,6
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

Tableau 4 : Résumé de l'activité de pêche du crabe des neiges de 4X.

Année	Permis	TAC (t)	Débarquements (t)	CPUE (kg/casier levé)	Effort (x 1 000 casiers levés)
2003-2004	9	600	289	13	22,8
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 ¹	9	110	32	13	-

Remarque : ¹En date du 1^{er} février 2018. La saison de pêche est toujours en cours.

Tableau 5 : Conditions de carapace (CC) des crabes 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	Pincés facilement pliées, carapace molle, couleur vive, iridescente, sans épibiontes	De 0 à 5 mois
2	Propre	Variable	Pincés facilement pliées, 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	Vieux	> 68	Carapace dure, très sale, un peu de décomposition aux articulations des pattes, quelques épibiontes	De 2 à 5 ans
5	Très vieux	Variable	Carapace molle, très sale, décomposition étendue, épibiontes étendus	De 4 à 6 ans

Tableau 6 : Étiquetage spaghetti par année depuis 2010 (totaux depuis 2004). Les lignes représentent les résultats de tous les crabes 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.

Année	Étiquettes apposées	Étiquettes retournées	Étiquettes distinctes retournées	Déplacement moyen (km)	Déplacement max. (km)	Nombre moyen de jours à capturer	Nombre maximal de jours à capturer	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	148	130	33,73	231,72	397,68	1 552	2,58
2013	3 879	348	316	41,07	503,97	597,07	1 467	2,27
2014	3 112	252	231	17,91	219,98	608,54	1 200	0,9
2015	2 251	138	130	18,81	220,6	373,27	763	1,53
2016	1 581	88	79	22,49	161,59	343,1	469	1,99
2017	1 318	34	32	2,71	9,18	14,25	17	5,79
Toutes les années/zones	22 488	1 748	1 627	27,04	504	455	2 278	1,81

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

Zone	Étiquettes apposées	Étiquettes distinctes retournées	Déplacement moyen (km)	Nombre moyen de jours à capturer	Moyenne des km/mois	Nombre de pêcheurs qui retournent des étiquettes
S.-E. de la N.-É.	13 836	749	26,91	387	2,12	83
N.-E. de la N.-É.	7 681	792	32,09	550	1,78	69
4X	971	99	8,88	218	1,24	19

Tableau 8 : Prédateurs du crabe des neiges dans l'est de la N.-É. au cours de la période de 1995 à 2016. Pour chaque période, N estomacs représente 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. Toutes les espèces prédatrices ayant moins de 100 estomacs échantillonnés ont été retirées 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 atlantique	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
Merluce 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 MCA visible » représente les crabes indiqués comme contaminés. « Taux d'infection » est la proportion de crabes contaminés et « % de mâles » est la proportion de crabes atteints de MCA (+) qui sont des mâles.

Année de relevé	Total des crabes	Crabes atteints de MCA visible (+)	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

Année de relevé	Total des crabes	Crabes atteints de MCA visible (+)	Taux d'infection (%)	% de mâles (MCA +)
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

Tableau 10 : Estimations des prises accessoires (kg) de poissons et d'invertébrés provenant de la pêche du crabe des neiges à l'est de la N.-É. 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 très spécifique à l'espèce, puisque les niveaux de prises accessoires sont extrapolés à environ 0,026 % des débarquements de crabe des neiges au cours des trois dernières années dans l'est de la N.-É.

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 de mer	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
Débarquements de crabe des neiges	11 911 000	9 896 000	7 532 000	29 339 000

Tableau 11 : Estimations des prises accessoires (en kg) de la pêche du crabe des neiges dans la zone 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 0,55 % du total des débarquements au cours des trois dernières années. L'étendue spatiale limitée de la pêche au cours des deux dernières saisons a produit des niveaux de prises accessoires inférieurs à ceux des deux années précédentes avec une empreinte géographique beaucoup plus grande. La saison 2017 est en cours et n'est donc pas présentée.

Espèce	2014	2015	2016	Total sur 3 ans
Homard d'Amérique	0	98	48	146
Morue	0	0	16	16
Crabe nordique	7	0	16	23
Chaboisseau à dix-huit épines	0	0	0	0
Lompe	0	11	0	11
Crabe épineux	438	130	81	649
Crabe rouge de profondeur	75	0	0	75
Sébaste	0	0	0	0
Hémitriptère atlantique	521	239	0	760
Total des prises accessoires	1 041	478	161	1 680
Débarquements de crabe des neiges	82 000	142 000	80 000	304 000

Tableau 12 : Condition de carapace (CC) du crabe ≥ 95 mm de LC (en pourcentage selon le nombre) au fil du temps pour le N.-E. de la N.-É. à partir des données observées en mer.

Année	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5
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

Tableau 13 : Condition de carapace (CC) du crabe ≥ 95 mm de LC (en pourcentage selon le nombre) au fil du temps pour le S.-E. de la N.-É. à partir des données observées 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

Tableau 14 : Condition de carapace (CC) du crabe ≥ 95 mm de LC (en pourcentage selon le nombre) au fil du temps pour la zone 4X à partir des données observées en mer. L'année fait référence à l'année de début de la saison (c.-à-d. la saison 2014-2015 est indiquée comme 2014).

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

Tableau 15 : Condition de carapace (CC) du crabe ≥ 95 mm de LC (en pourcentage selon le nombre) au fil du temps pour le N.-E. de la N.-É. à partir des relevés 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

Tableau 16 : Condition de carapace (CC) du crabe ≥ 95 mm de LC (en pourcentage selon le nombre) au fil du temps pour le S.-E. de la N.-É. à partir des relevés 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

Tableau 17 : Condition de carapace (CC) du crabe ≥ 95 mm de LC (en pourcentage selon le nombre) au fil du temps pour la zone 4X à partir des relevés au chalut. Proportions brutes non ajustées.

Année	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5
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

FIGURES

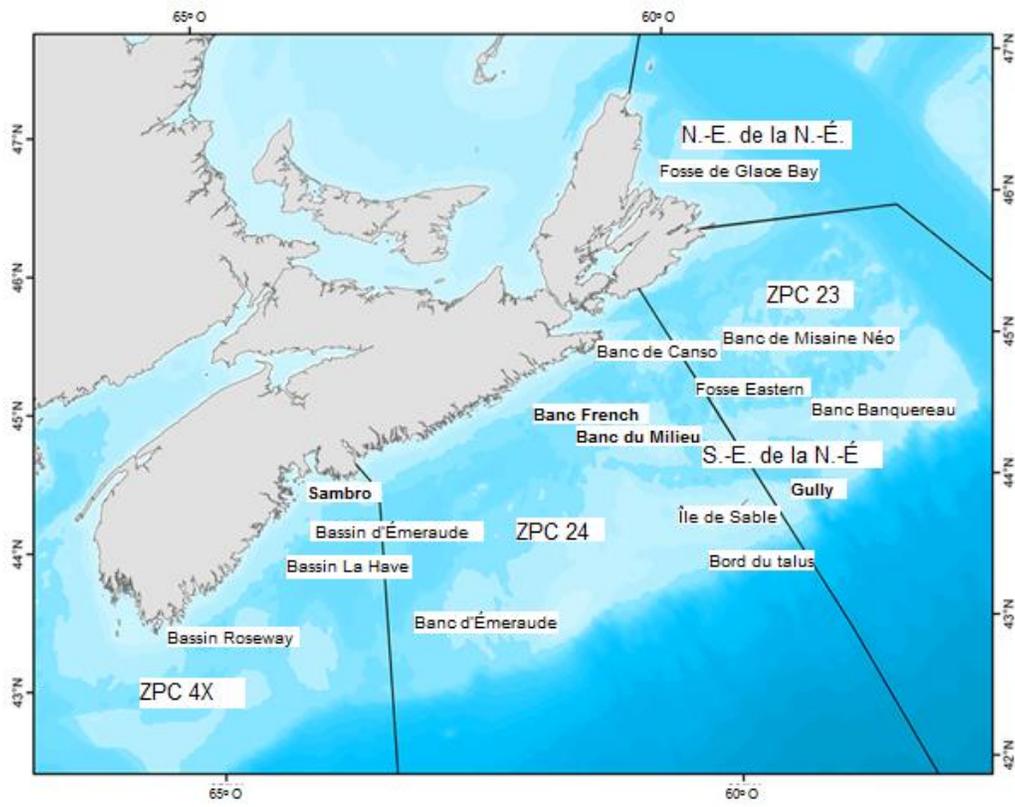


Figure 1. Emplacement des zones géographiques et des zones de gestion du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais.

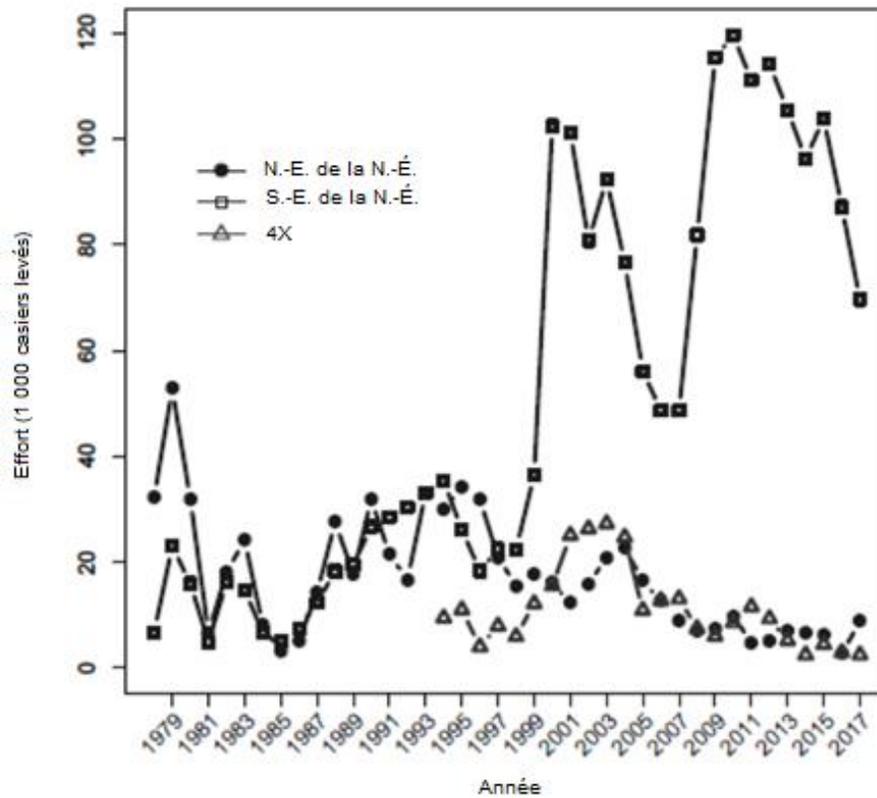


Figure 2. Variations temporelles de l'effort de pêche du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais, exprimées en nombre de casiers levés. L'année indiquée pour la zone 4X fait référence à l'année à laquelle commence la saison de pêche.

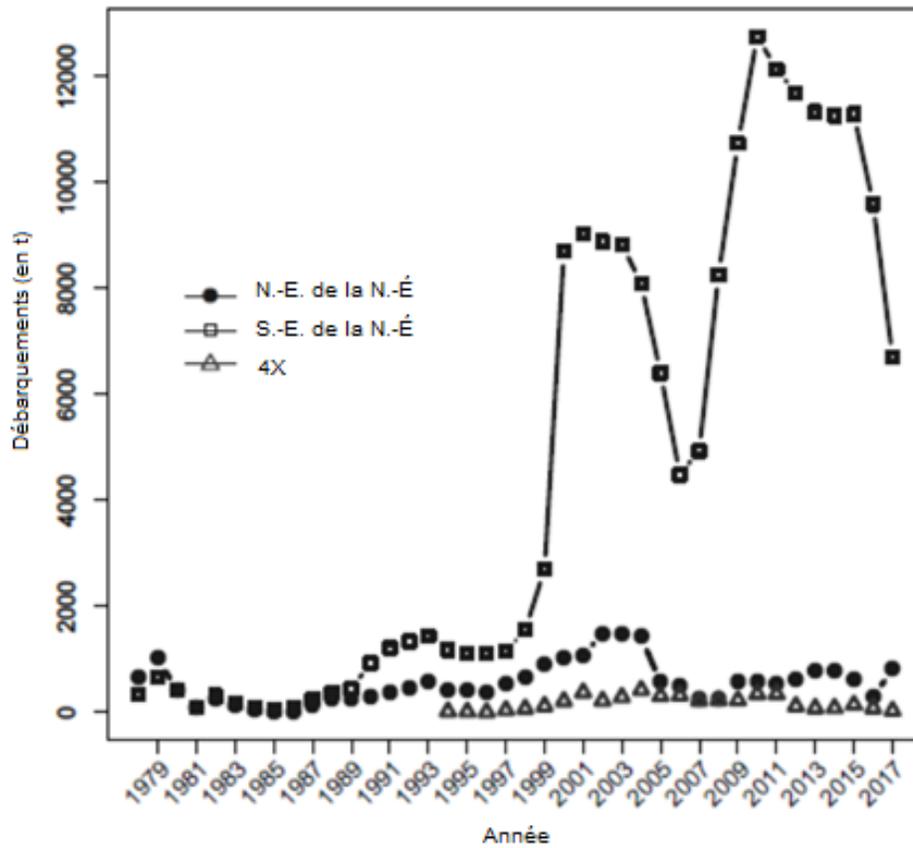


Figure 3. Variations temporelles des débarquements de crabe des neiges du plateau néo-écossais (t). Il convient de remarquer l'augmentation marquée des débarquements associée à l'augmentation spectaculaire des totaux autorisés des captures (TAC) et au doublement des efforts de pêche en 2000. Les débarquements suivent les TAC d'assez près (tableaux 2 à 4). L'année indiquée pour la zone 4X fait référence à l'année à laquelle commence la saison de pêche.

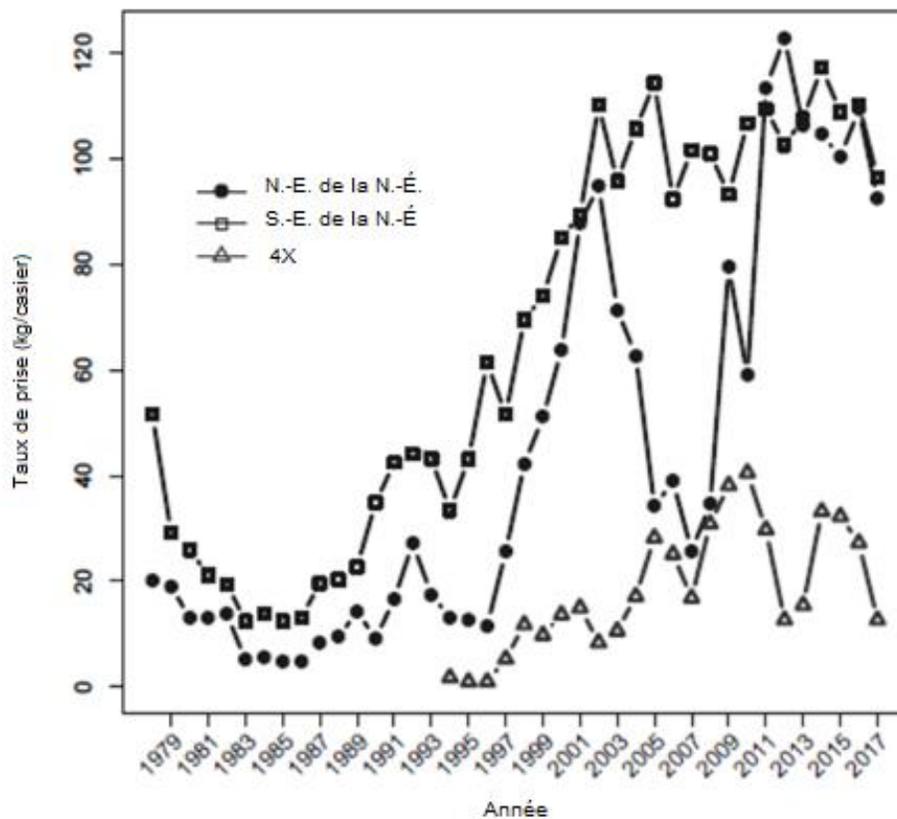


Figure 4. Variations temporelles des taux de prise de crabe des neiges sur le plateau néo-écossais, qui sont exprimés en kilogrammes (kg) par casier levé. Le modèle et la taille des casiers ont changé au fil du temps. Aucune correction pour ces différents types de pièges, ni pour la durée d'immersion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

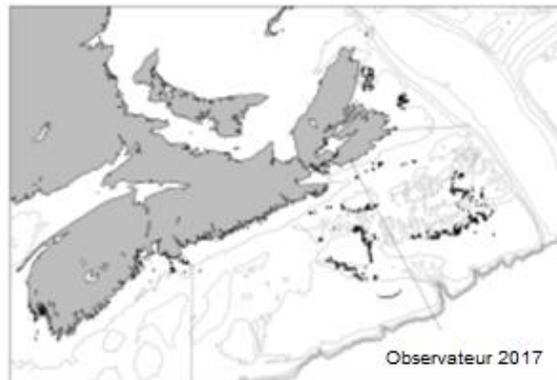
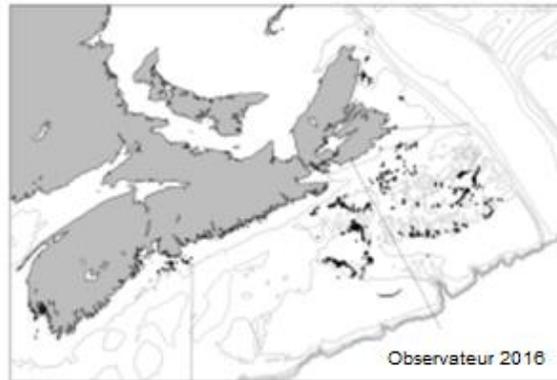
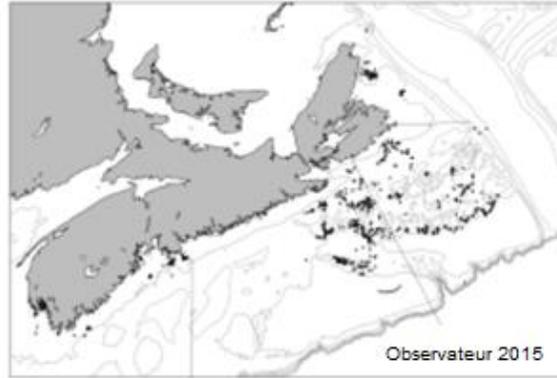


Figure 5. Lieux de pêche du crabe des neiges surveillés par des observateurs en mer sur le plateau néo-écossais au cours de chacune des trois dernières saisons de pêche.

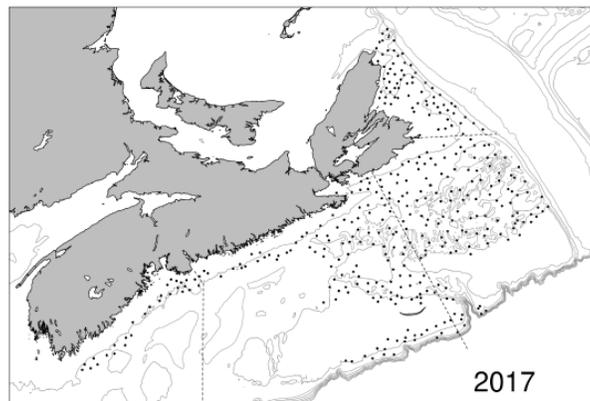
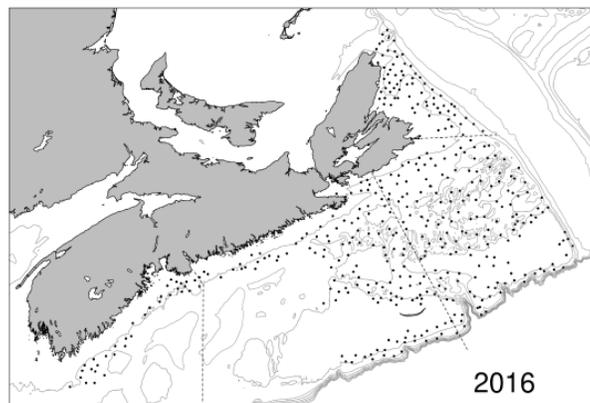
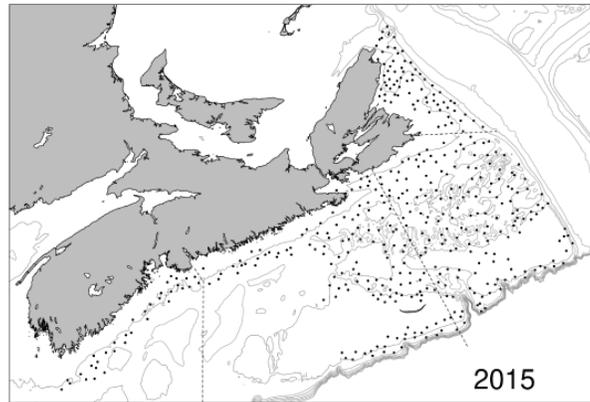


Figure 6. Emplacements des calées de chalut des relevés du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais au cours de chacune des trois dernières années. Il est à noter que l'on n'a pas terminé pour les stations dans le coin sud-est pour le relevé de 2017 comparativement aux autres années.

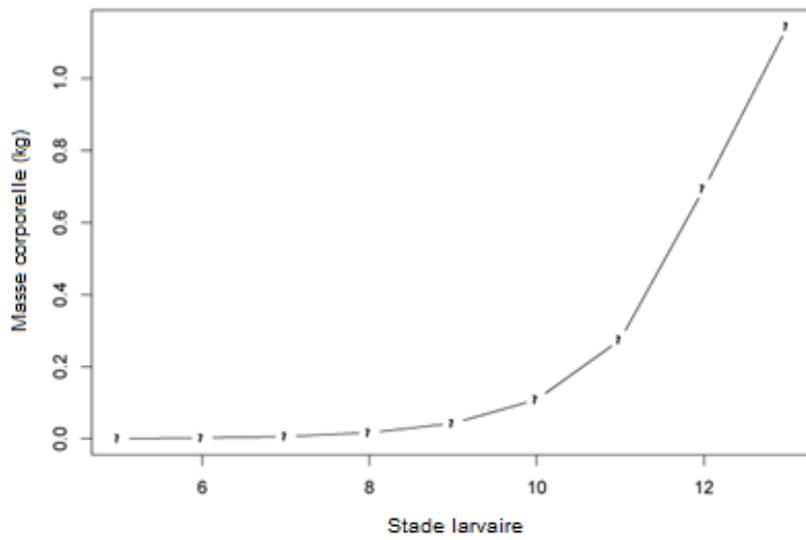
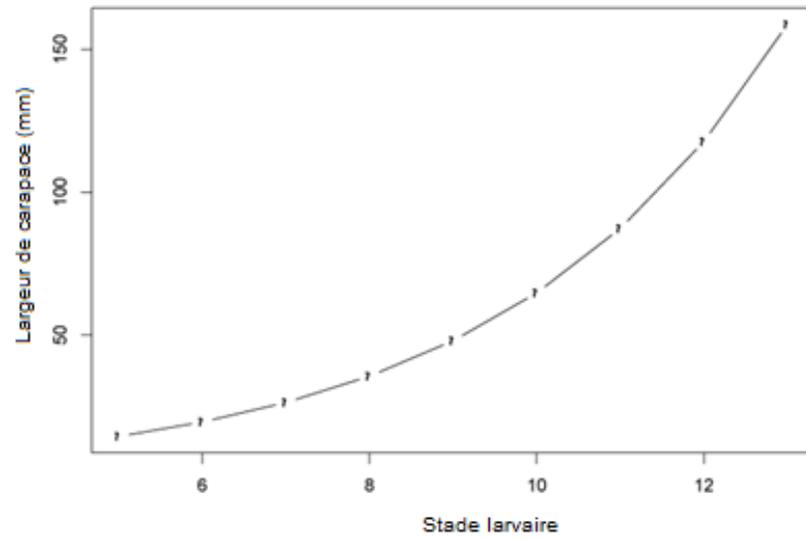


Figure 7. Courbes de croissance déterminées à partir de l'analyse de la fréquence de la longueur modale du crabe des neiges mâle sur le plateau néo-écossais.

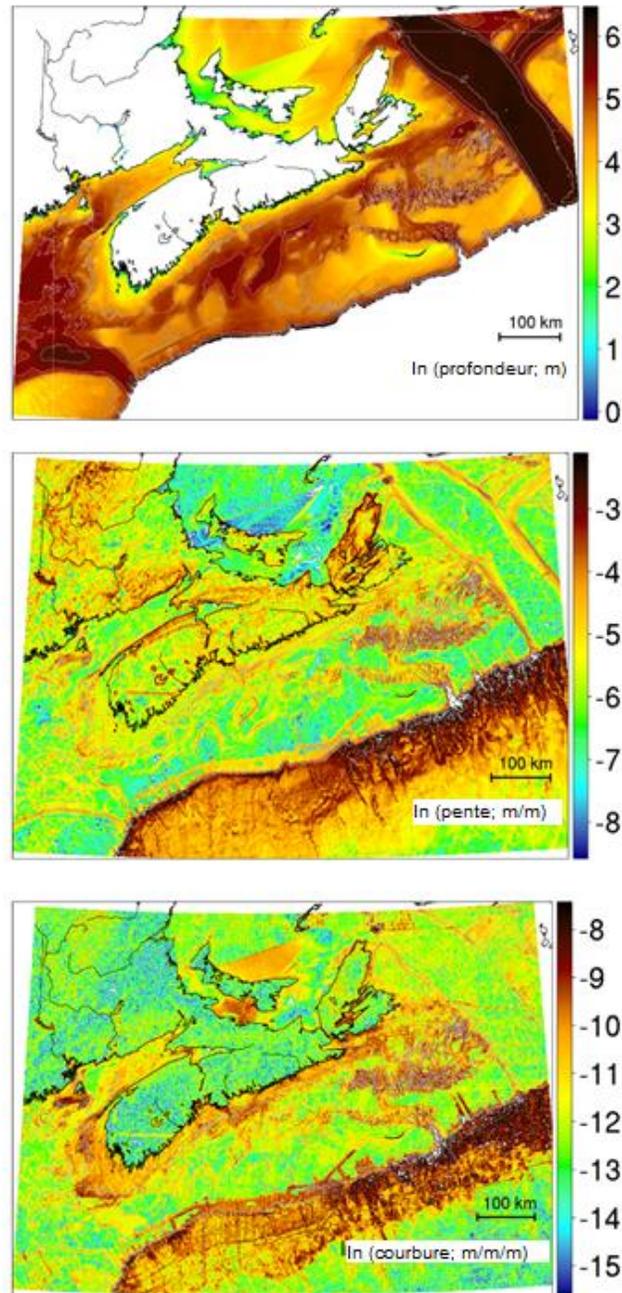


Figure 8. Caractéristiques de l'habitat utilisées pour la modélisation de la délimitation de l'habitat du crabe des neiges. Les visualisations des variations de température sont pour des moyennes climatologiques. Des estimations des variations annuelles de température ont été utilisées pour la modélisation.

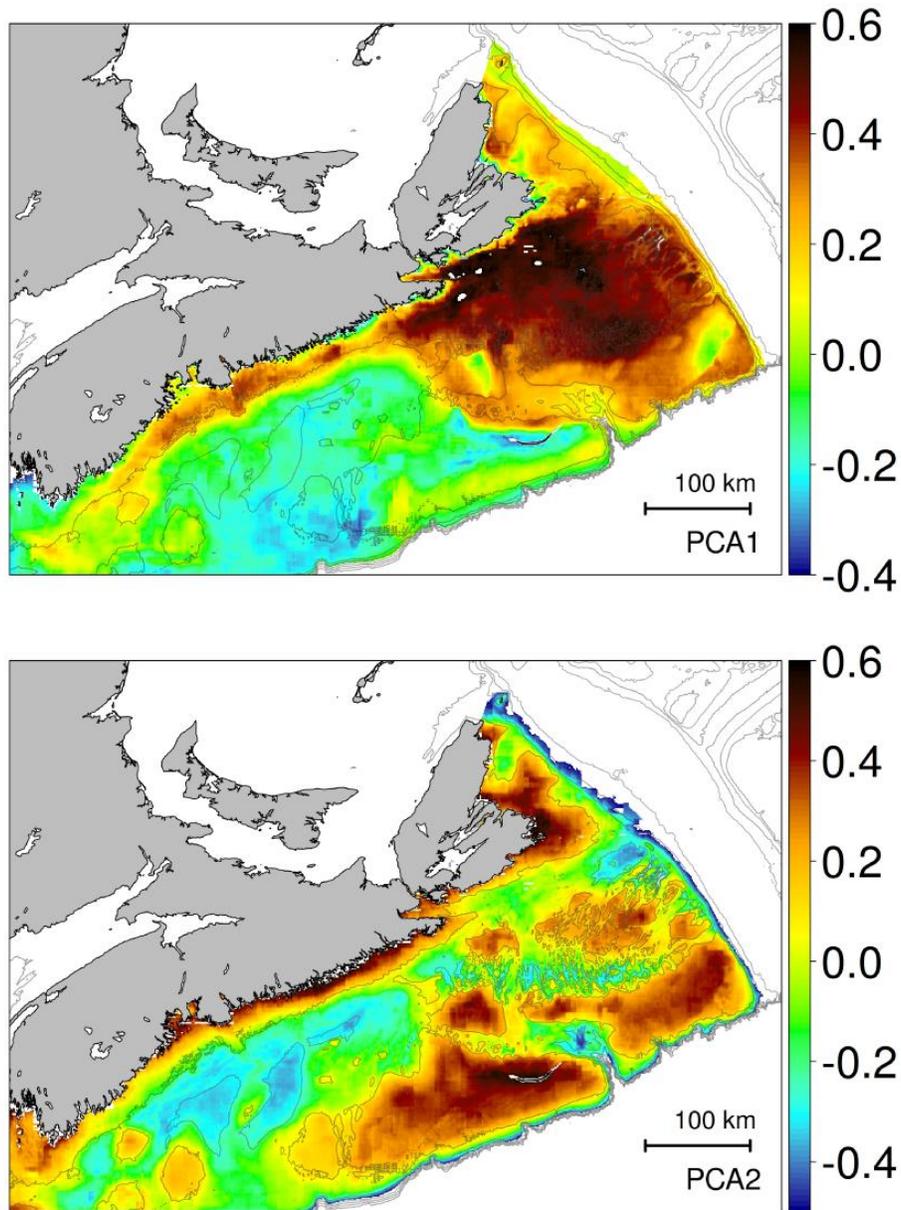


Figure 9. Analyse en composantes principales des caractéristiques de la composition des espèces (communautés) sur le plateau néo-écossais utilisées dans la modélisation de l'habitat du crabe des neiges. Des séries chronologiques annuelles sont utilisées. La figure du haut est le premier axe d'ordination,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

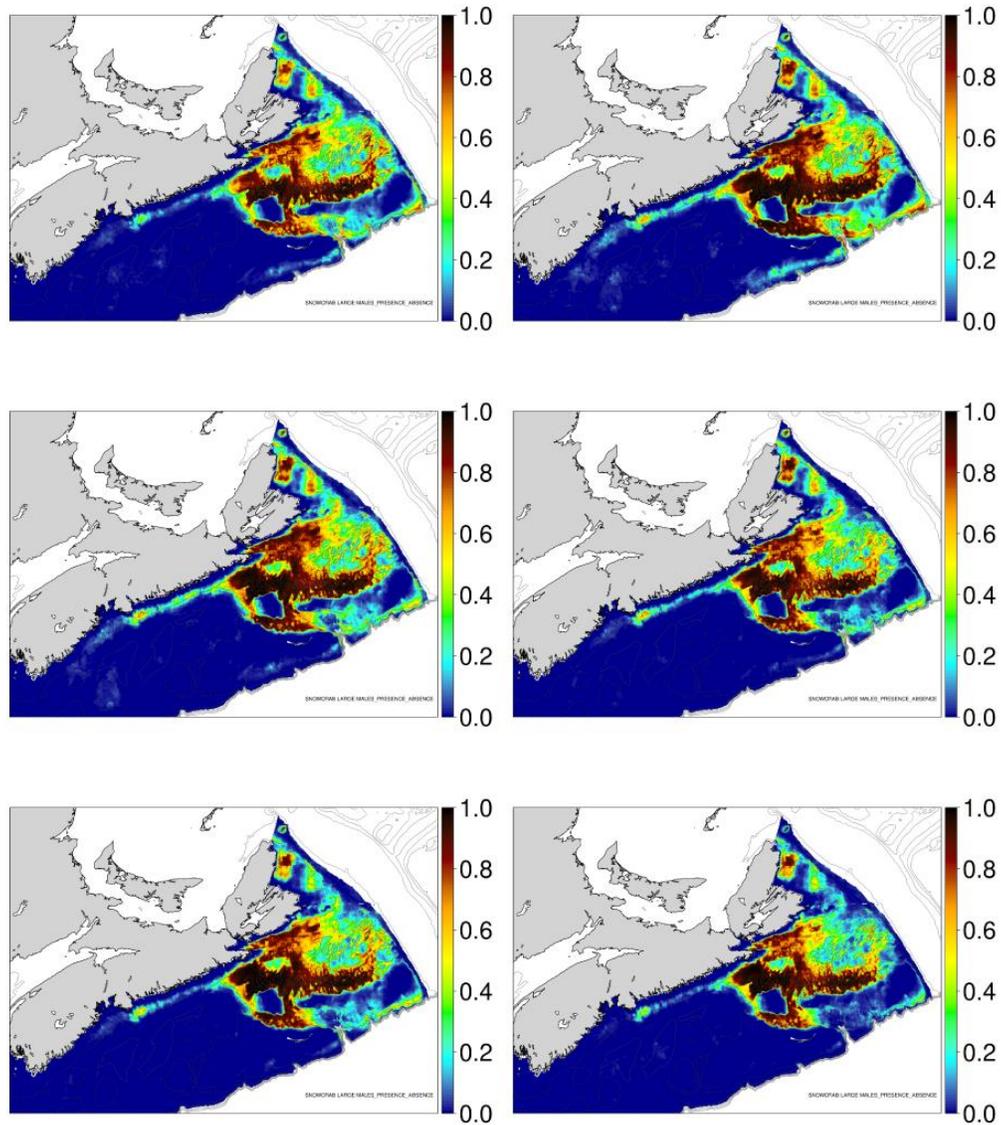


Figure 10. Les interpolations annuelles de l'habitat potentiel de la composante exploitable du crabe des neiges de la PNE représentent la probabilité de trouver du crabe des neiges. Les représentations spatiales sont générées à l'aide de la modélisation *stmv* à l'aide de modèles additifs généralisés de plusieurs variables relatives à l'habitat, à l'environnement et à la biologie.

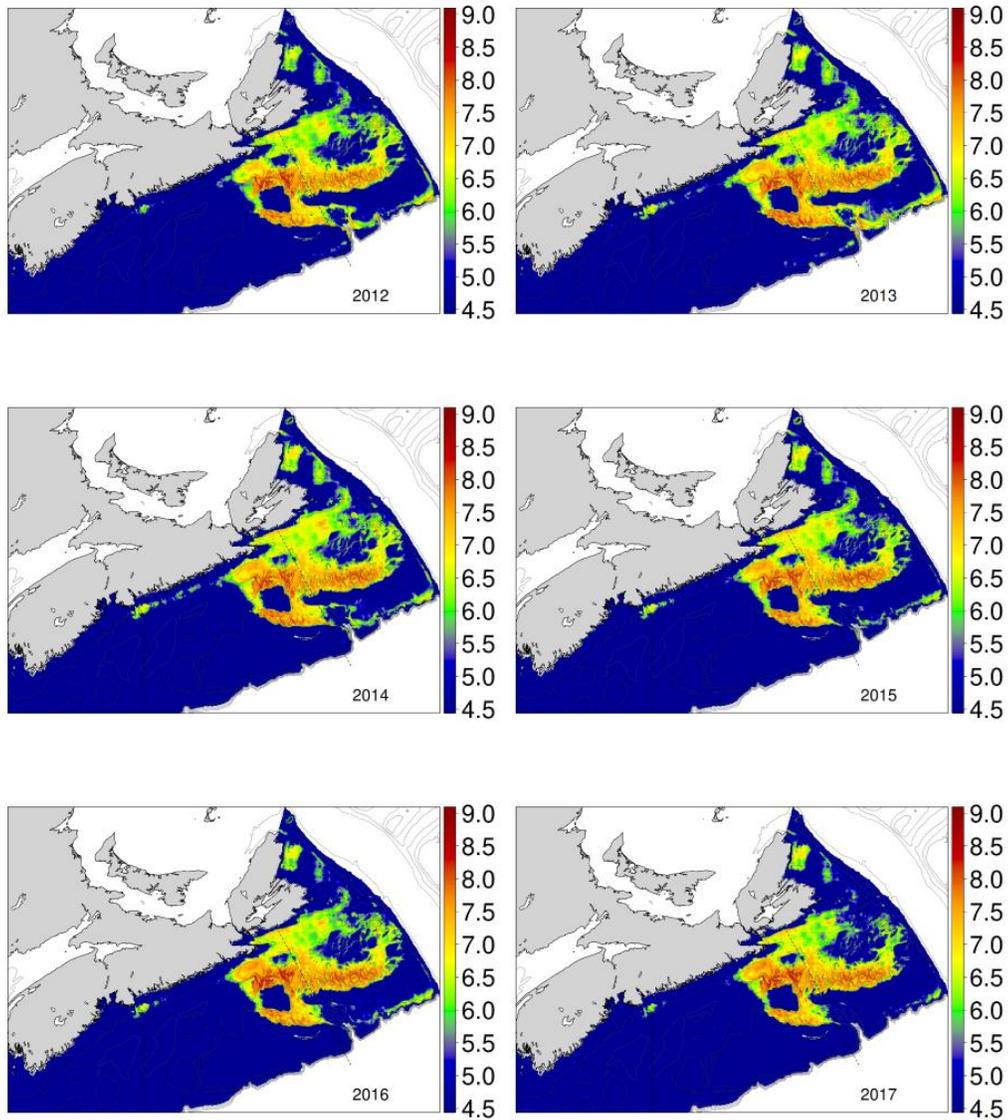


Figure 11. Interpolations annuelles du journal de biomasse du crabe des neiges exploitable ($\frac{t}{km^2}$). Les représentations spatiales sont générées à l'aide de la modélisation *stmv* à l'aide de modèles additifs généralisés de plusieurs variables relatives à l'habitat, à l'environnement et à la biologie.

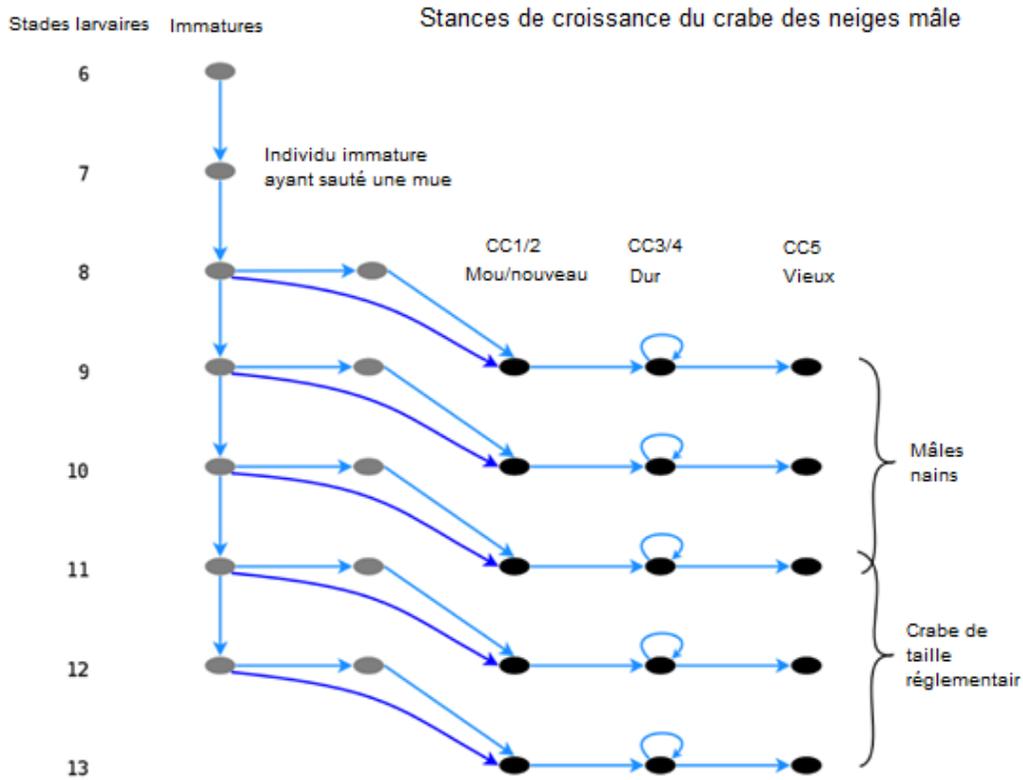


Figure 12. Les stances de croissance du crabe des neiges mâle. Chaque stade est déterminé à partir des limites de LC obtenues à partir d'une analyse modale et catégorisé en fonction de la condition de carapace (CC) et de la maturité à partir d'une inspection visuelle et d'équations de maturité. Le crabe des neiges est présent dans chaque stance de croissance pendant un an, à l'exception des crabes des catégories CC2 à CC4 dont on sait, d'après les études de marquage-recapture, qu'il y reste de trois à cinq ans.

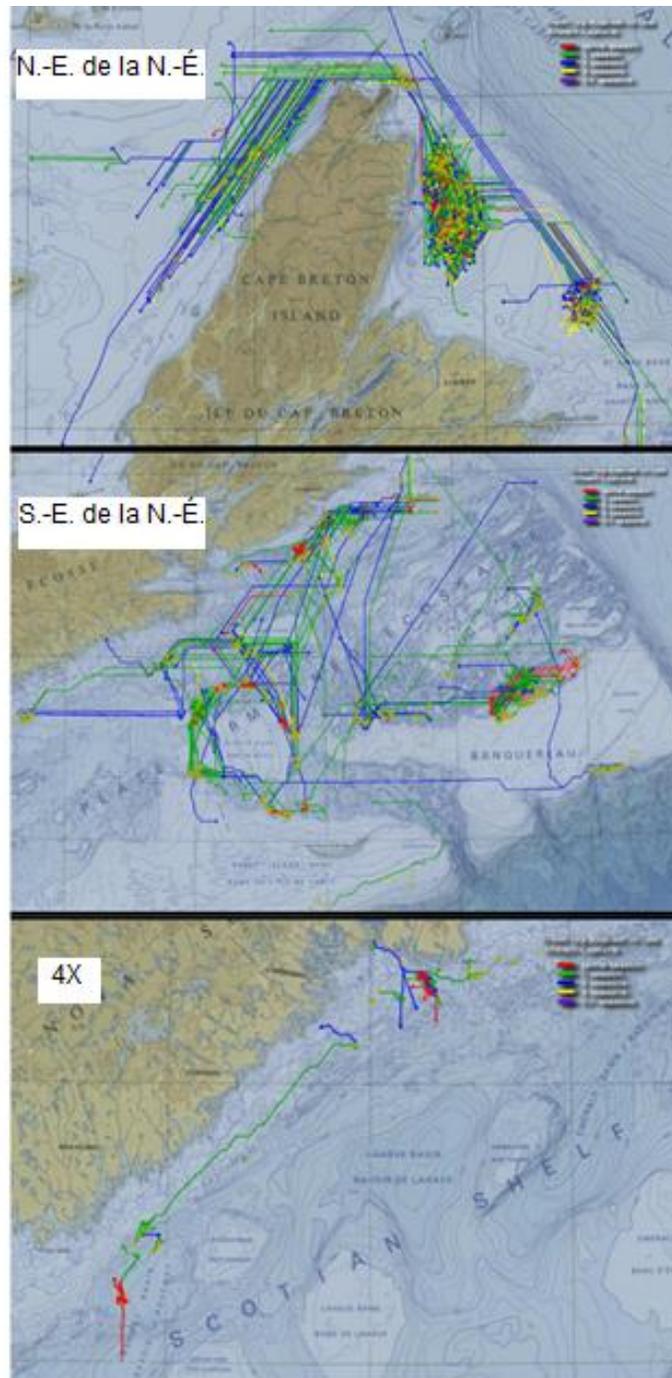


Figure 13. Déplacement des crabes des neiges marqués en fin de mue sur le plateau néo-écossais. La trajectoire de déplacement entre les lieux de remise à l'eau et de recapture est limitée à la trajectoire la plus courte dans des contours de profondeur de 60 et 280 m. Les cercles représentent les lieux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

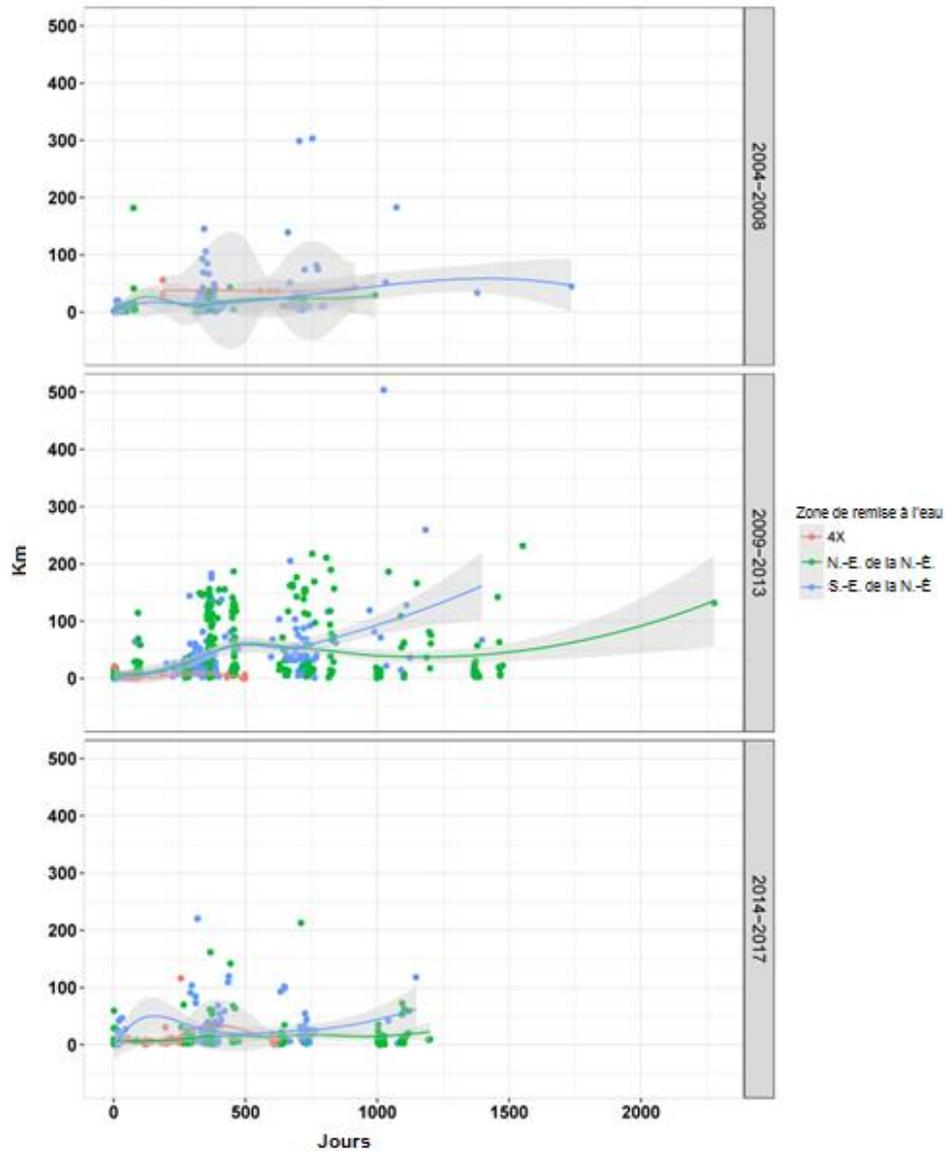


Figure 14. Distance parcourue par rapport au temps que l'on a mis à capturer le crabe des neiges marqué sur le plateau néo-écossais depuis 2004. Données regroupées par année de lancement, la zone de remise à l'eau se distinguant par la couleur. Deux profils de mouvement distincts ont été observés, le plus apparent dans le N.-E. de la N.-É. pour le groupe de remise à l'eau de 2009 à 2013. La périodicité des intervalles de temps s'explique par les recaptures survenant pendant les opérations de pêche saisonnières.

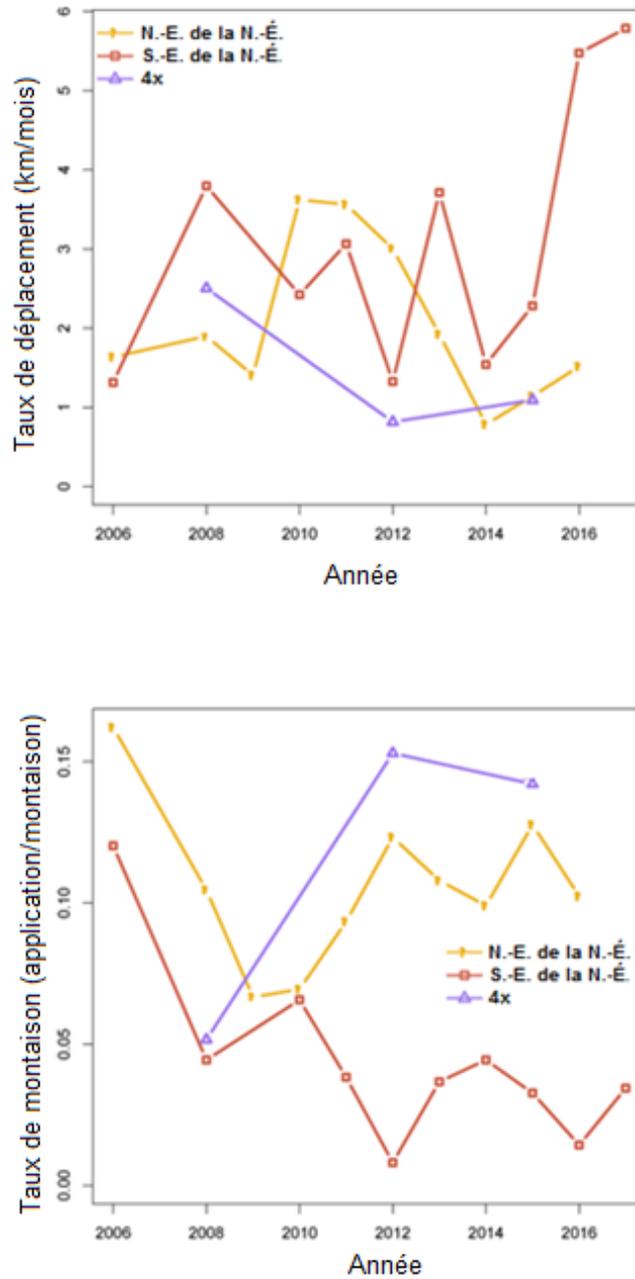


Figure 15. (En haut) Taux moyen de déplacement du crabe des neiges marqué sur le plateau néo-écossais par zone et par année. Les longueurs de trajet dérivées des trajectoires les plus courtes calculées, limitées par une plage de profondeur de 60 à 280 m. La petite taille de l'échantillon et la courte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

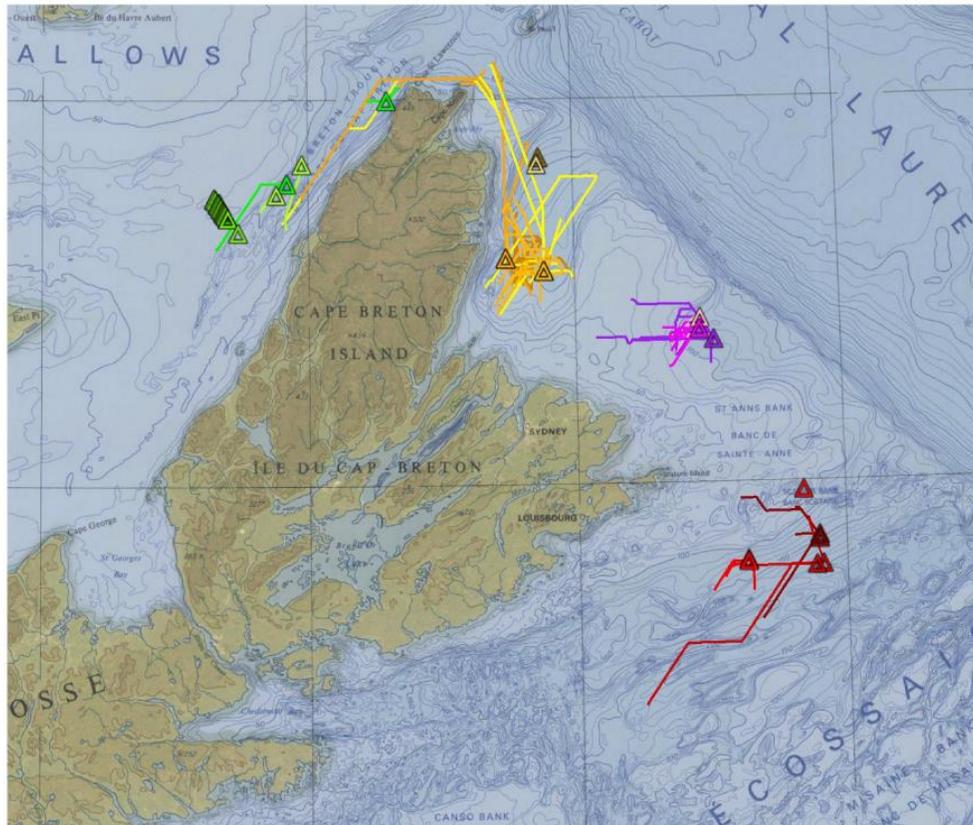


Figure 16. Déplacement du crabe des neiges marqué d'une étiquette acoustique sur le plateau néo-écossais. Trajectoire de déplacement entre le point de repère et les points de détection limitée à la trajectoire la plus courte dans des contours de profondeur de 60 et 280 m. Les triangles représentent les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

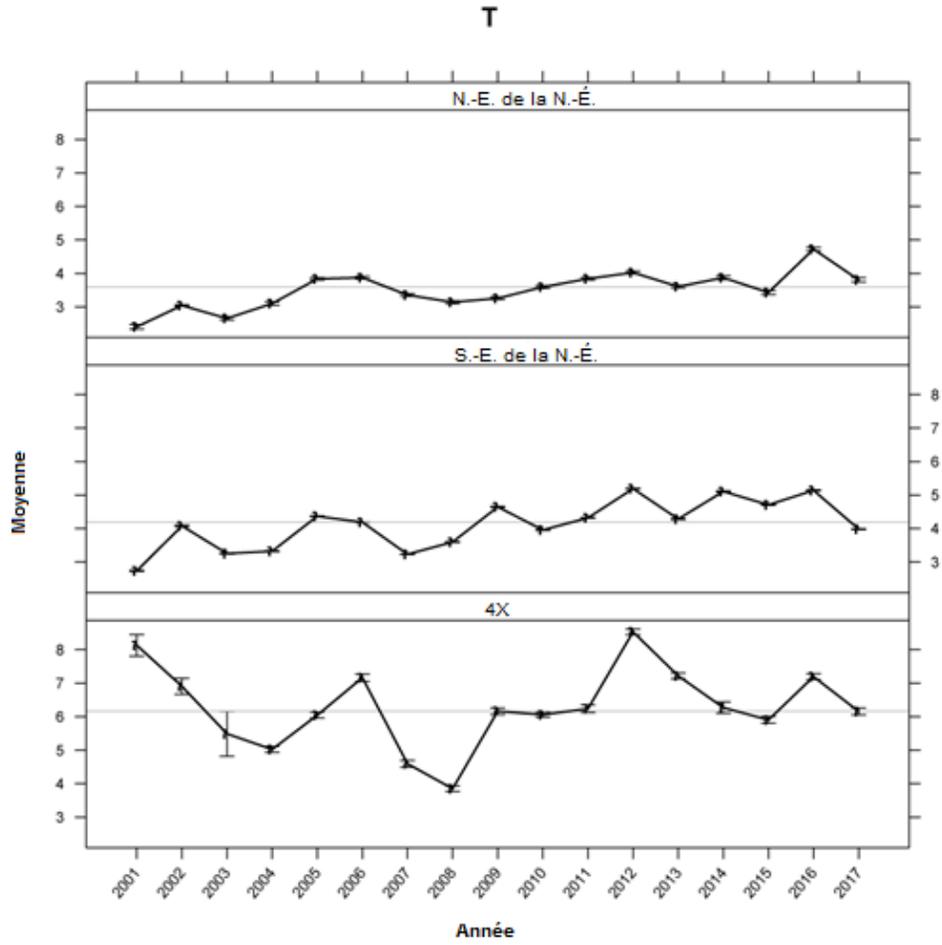


Figure 17. Variations annuelles de la température au fond observées au cours du relevé sur le crabe des neiges dans l'est de la N.-É. La ligne horizontale représente la température médiane à long terme de chaque sous-secteur. Les barres d'erreur représentent un écart-type de 1.

Température du relevé sur le poisson de fond

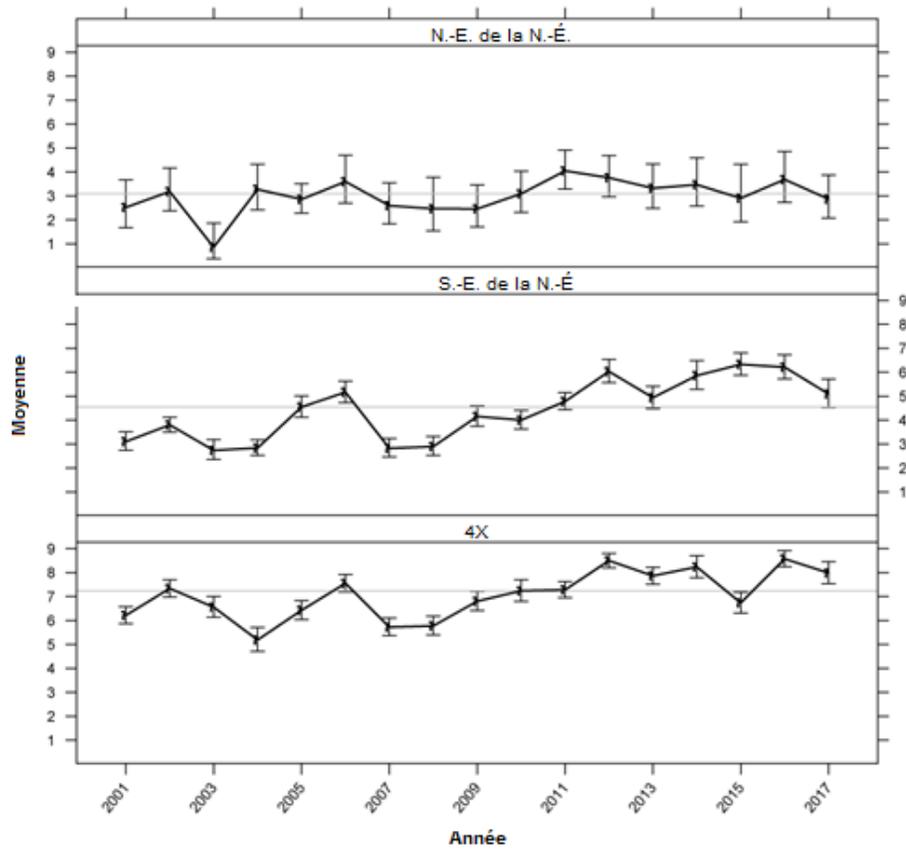


Figure 18. Variations annuelles de la température du fond observées pendant le relevé sur le poisson de fond du MPO en juillet avec un navire de recherche. La ligne horizontale représente la température médiane à long terme de chaque sous-secteur. Les barres d'erreur représentent un écart-type de 1.

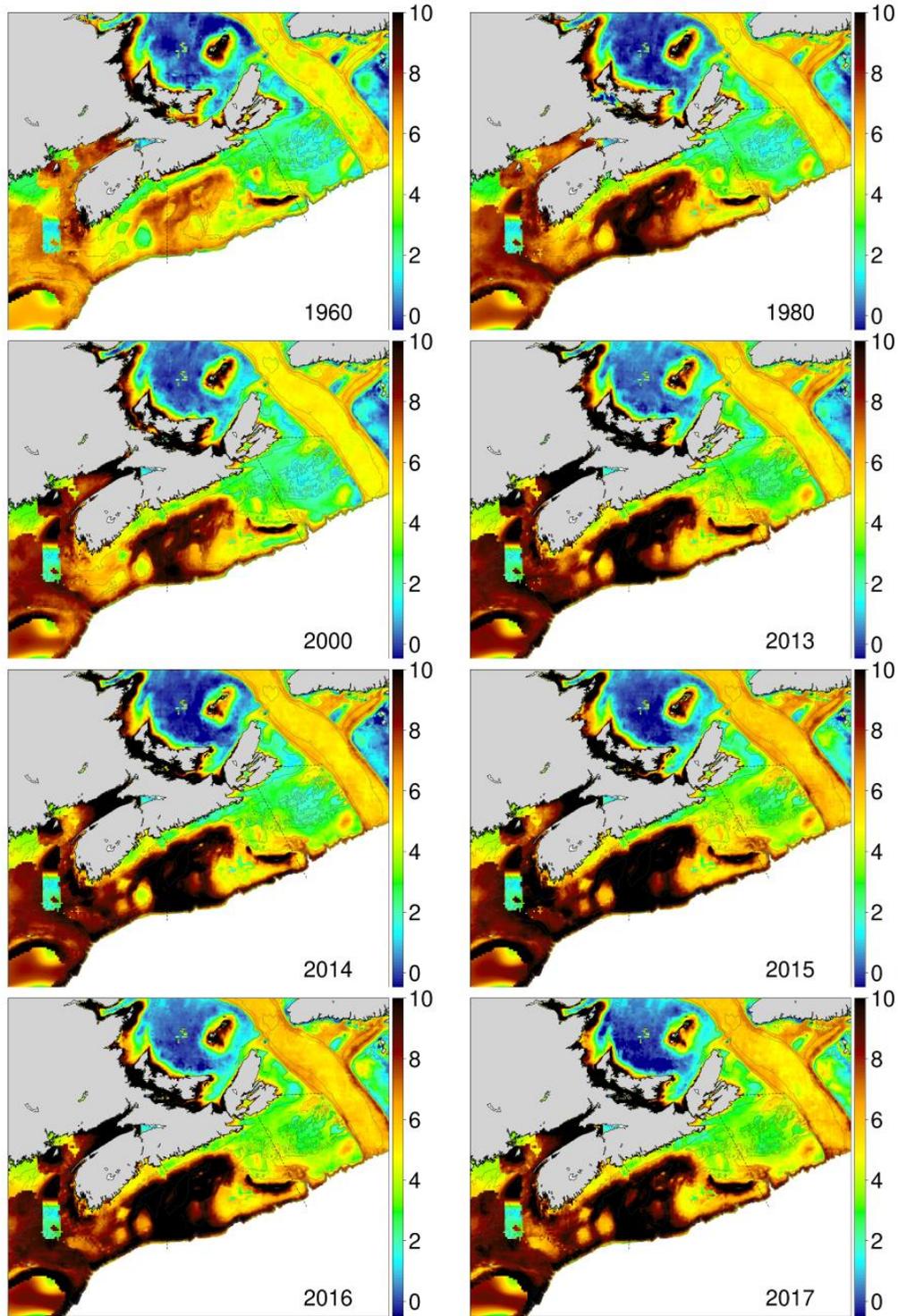


Figure 19. Température annuelle moyenne au fond interpolée sur le plateau néo-écossais pour l'année sélectionnée. Ces interpolations utilisent toutes les données disponibles en ce qui concerne la température de l'eau dans la zone, y compris celles provenant des relevés sur le poisson de fond, du relevé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

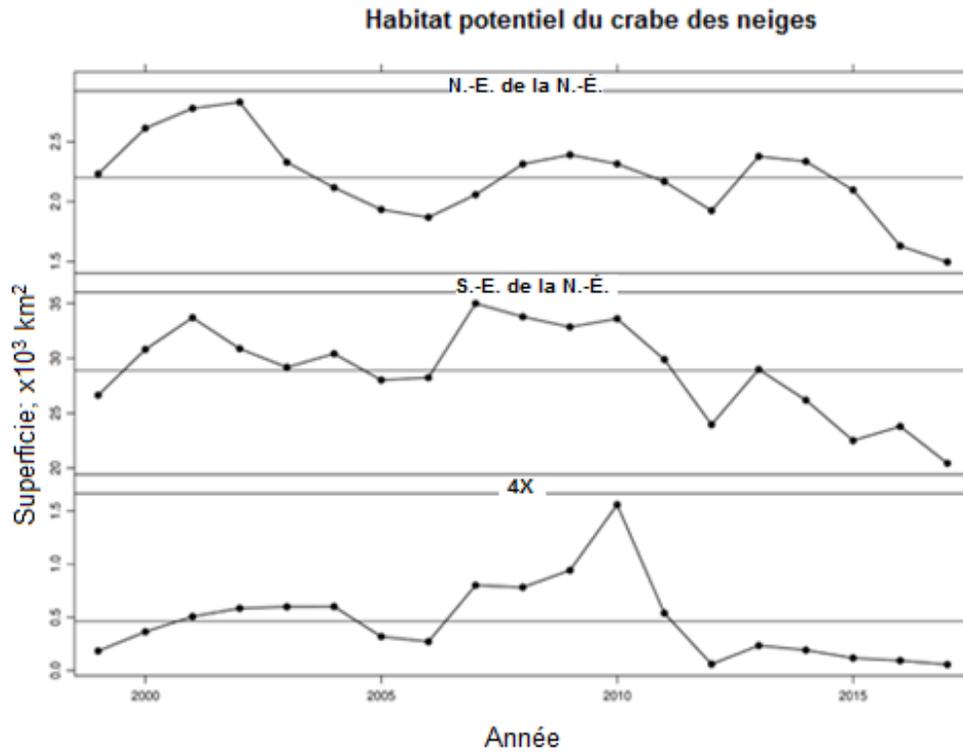


Figure 20. Variations annuelles de la superficie de l'habitat potentiel du crabe des neiges. La ligne horizontale représente la superficie médiane à long terme de chaque sous-secteur.

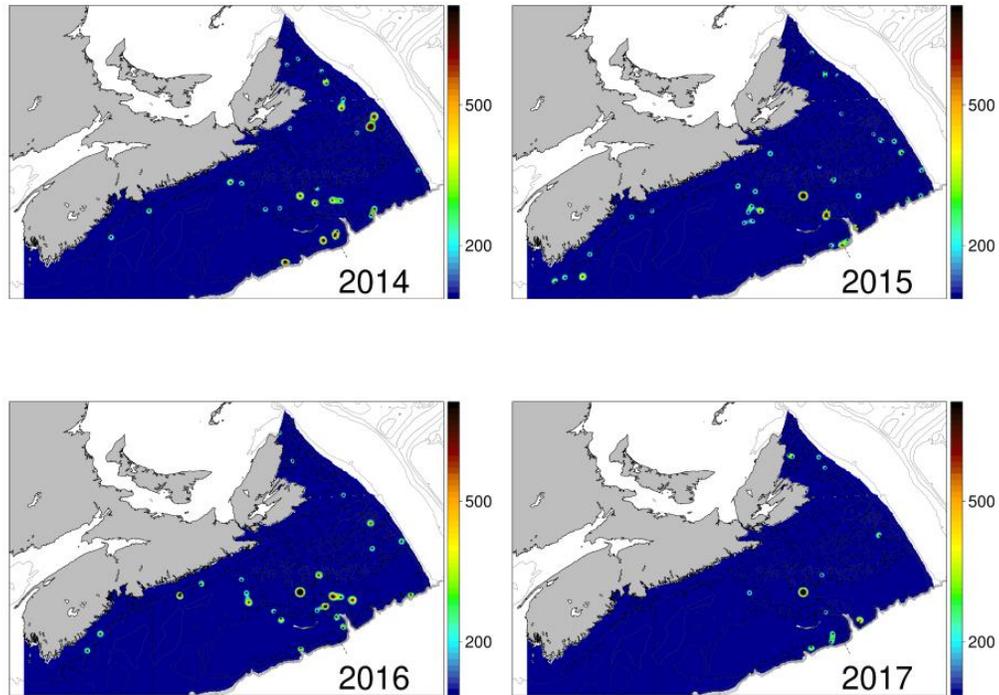


Figure 21. Emplacements des prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **flétan atlantique**. L'échelle est le nombre $\frac{\text{nombre}}{\text{km}^2}$.

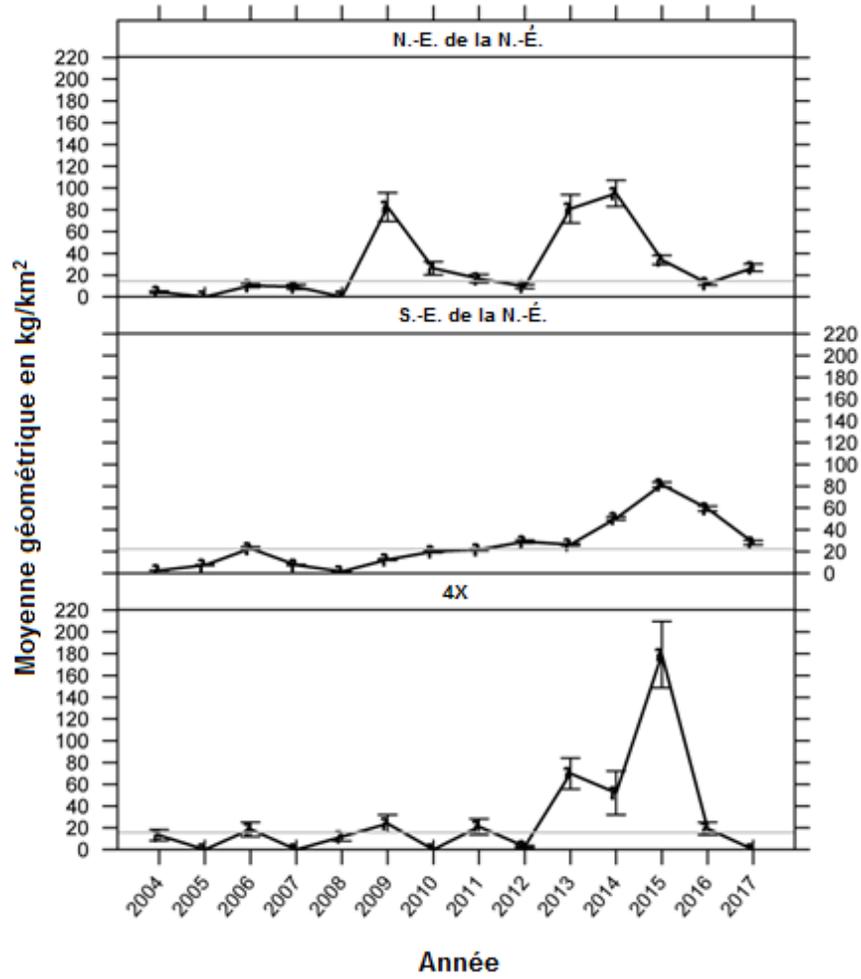


Figure 22. Tendances de la biomasse ($\frac{t}{km^2}$) issues du relevé annuel du crabe des neiges pour les prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **flétan atlantique**.

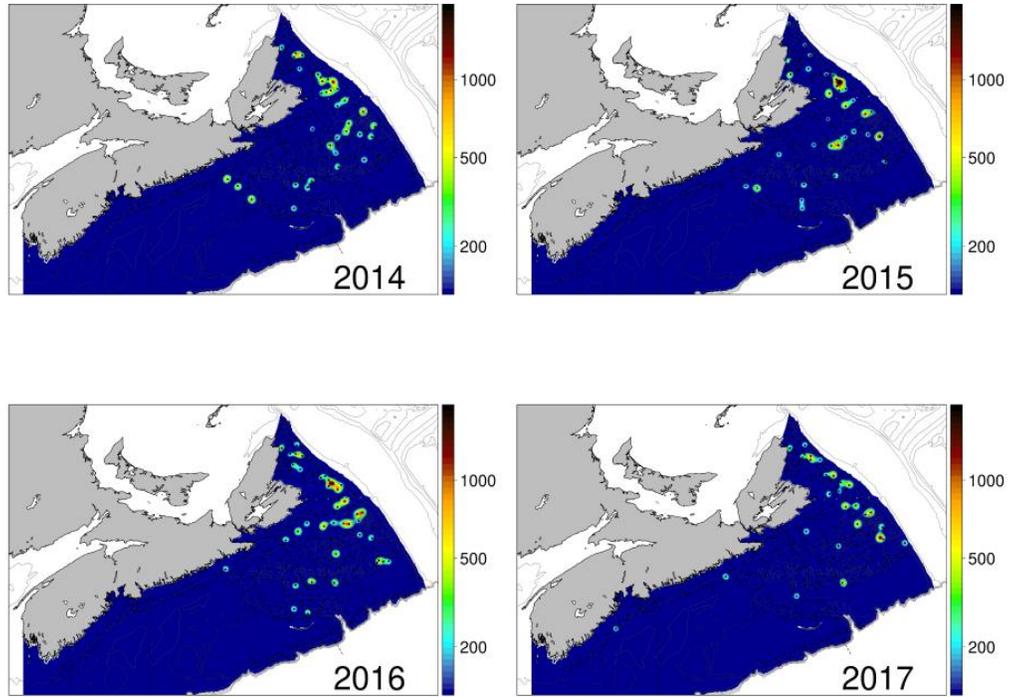


Figure 23. Emplacements des prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **loup atlantique**. L'échelle est le nombre $\frac{\text{number}}{\text{km}^2}$.

Biomasse du loup atlantique rayé

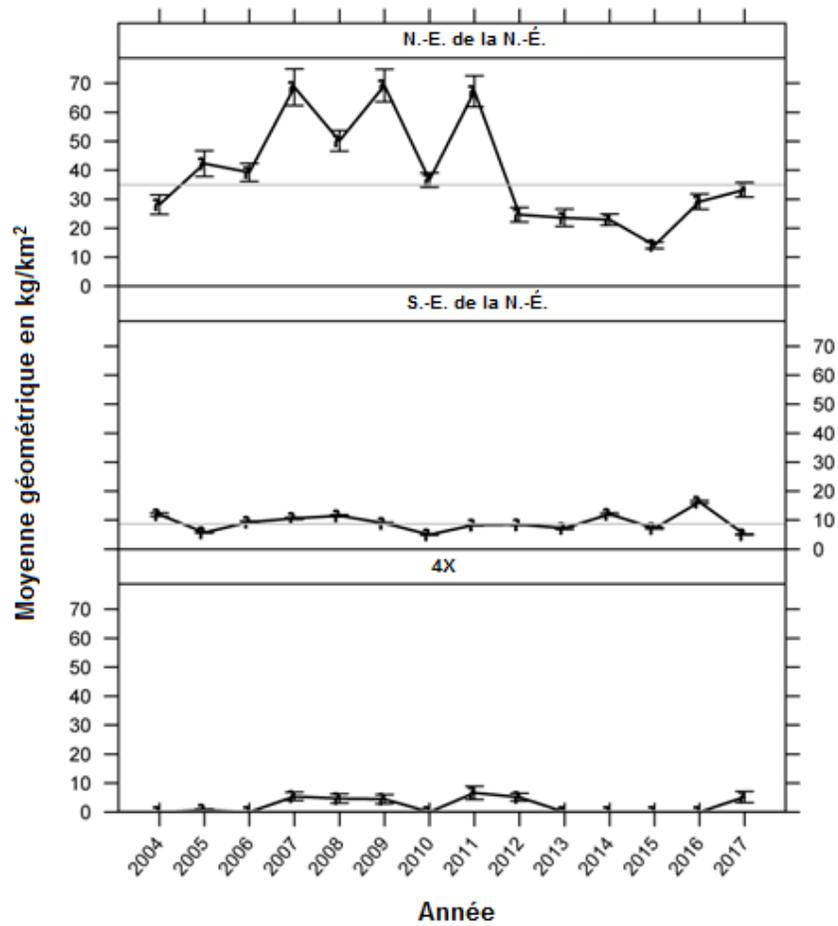


Figure 24. Tendances de la biomasse $\frac{t}{km^2}$ issues du relevé annuel du crabe des neiges pour les prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **loup atlantique**.

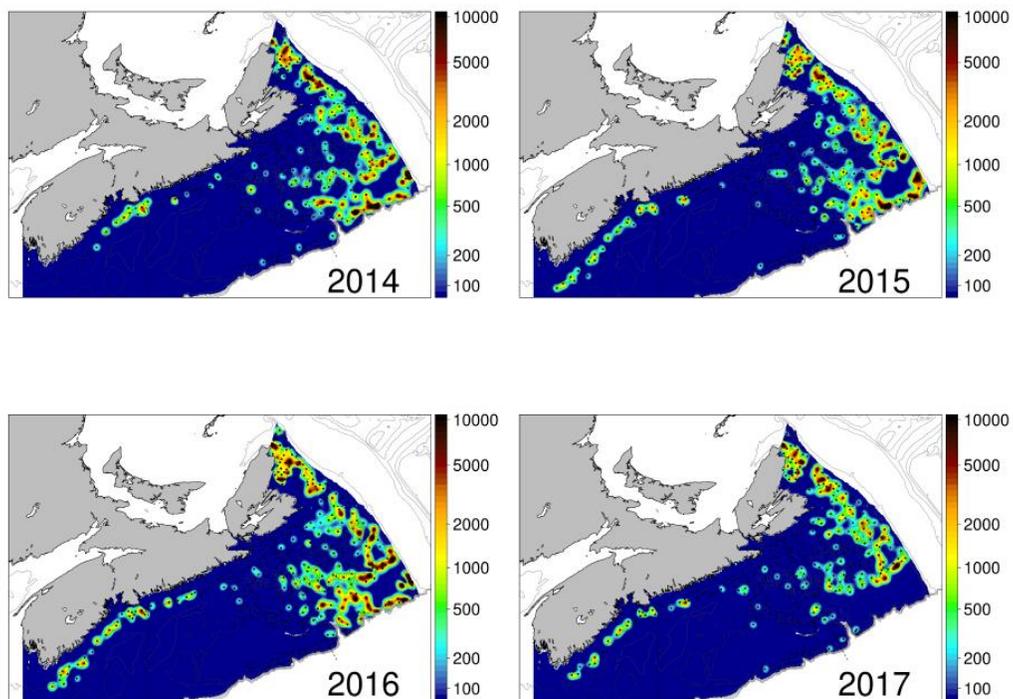


Figure 25. Emplacements des prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **raie épineuse**. L'échelle est $\frac{\text{nombre}}{\text{km}^2}$

Biomasse de la raie épineuse

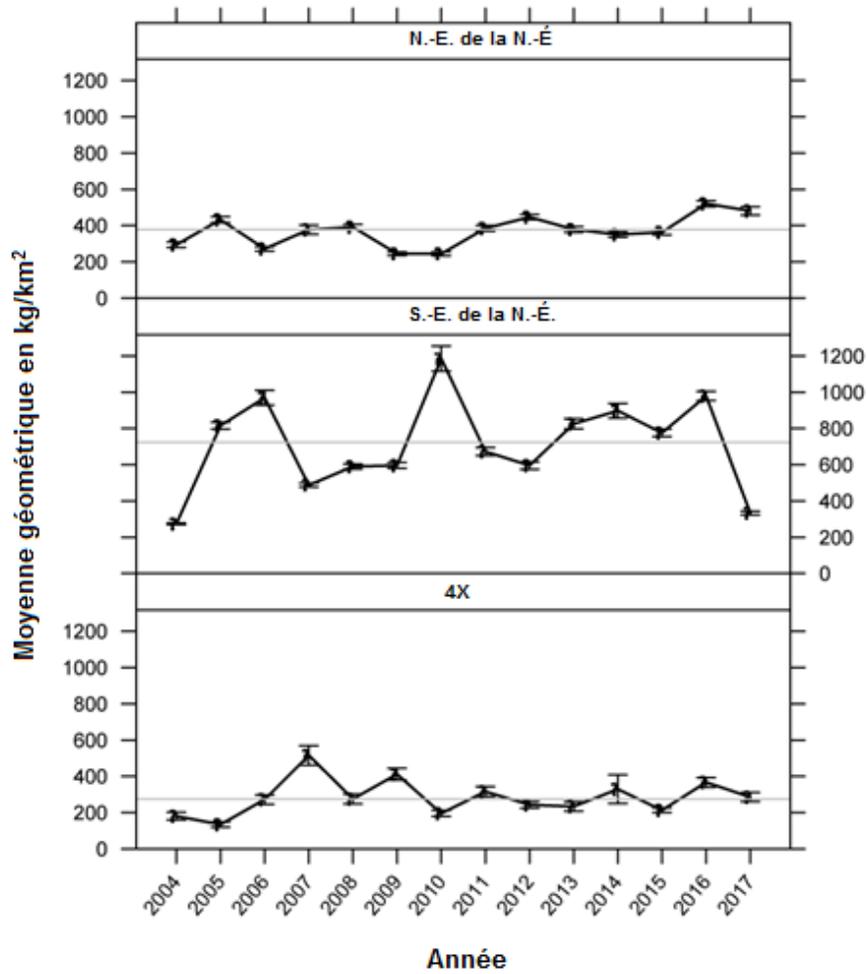


Figure 26. Tendances de la biomasse $\frac{t}{km^2}$ issues du relevé annuel du crabe des neiges pour les prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **raie épineuse**.

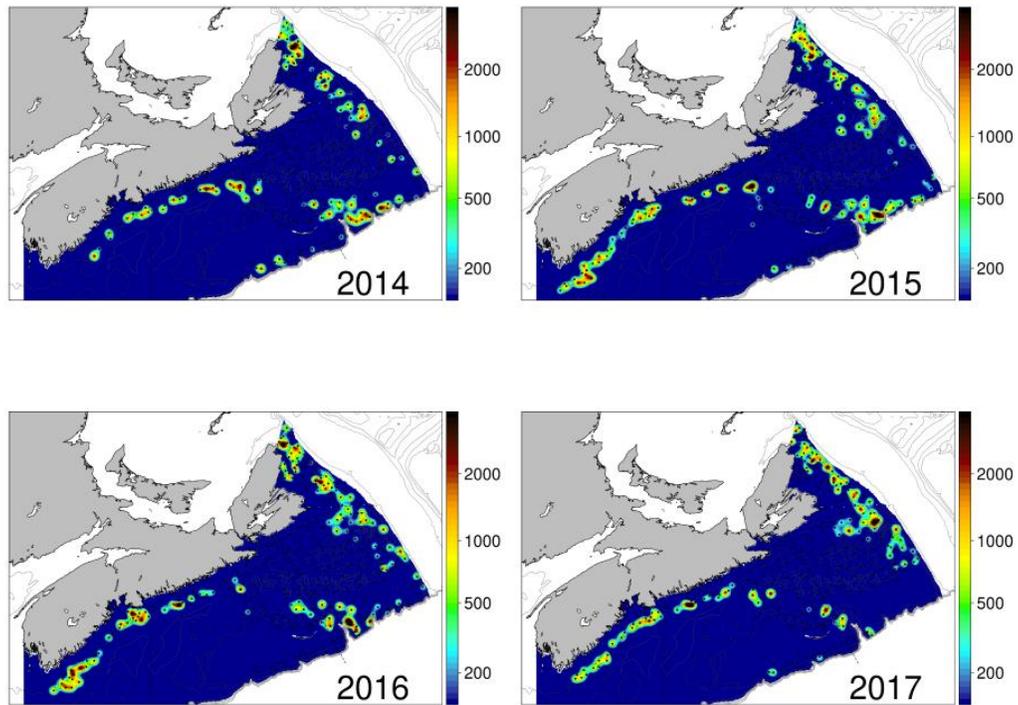


Figure 27. Emplacements des prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : raie à queue de velours. L'échelle est $\frac{\text{nombre}}{\text{km}^2}$.

Biomasse de la raie à queue de velours

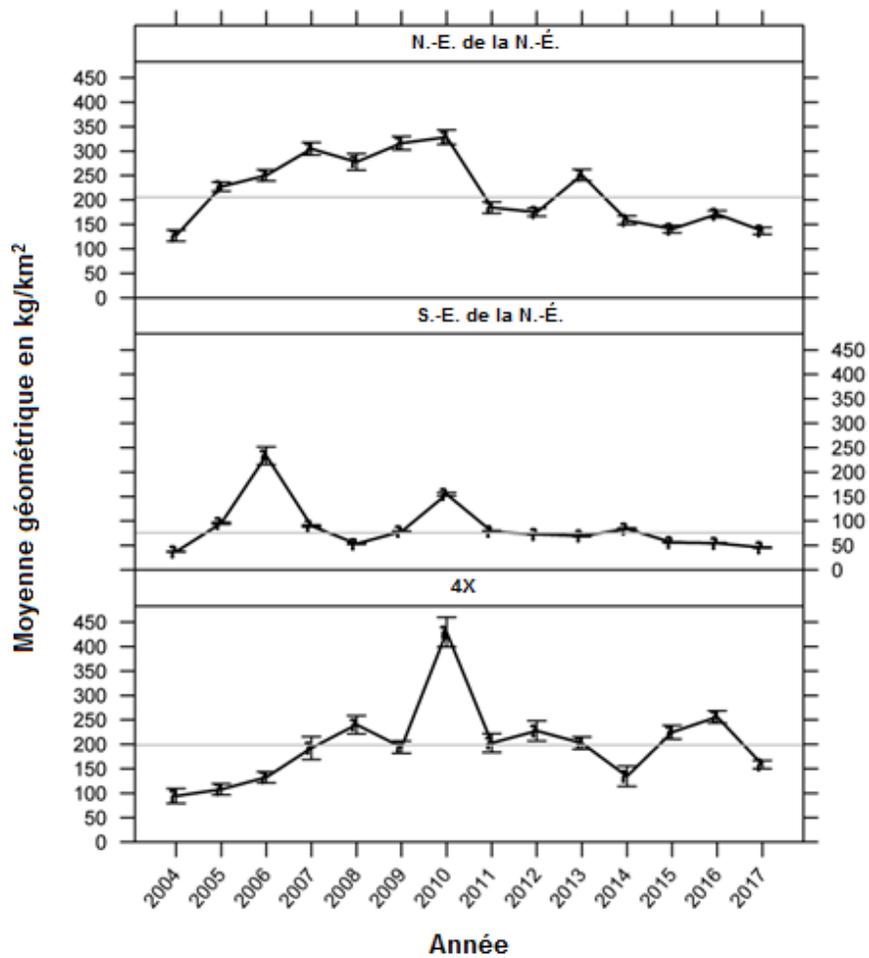


Figure 28. Tendances de la biomasse $\frac{t}{km^2}$ issues du relevé annuel du crabe des neiges pour les prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **raie à queue de velours**.

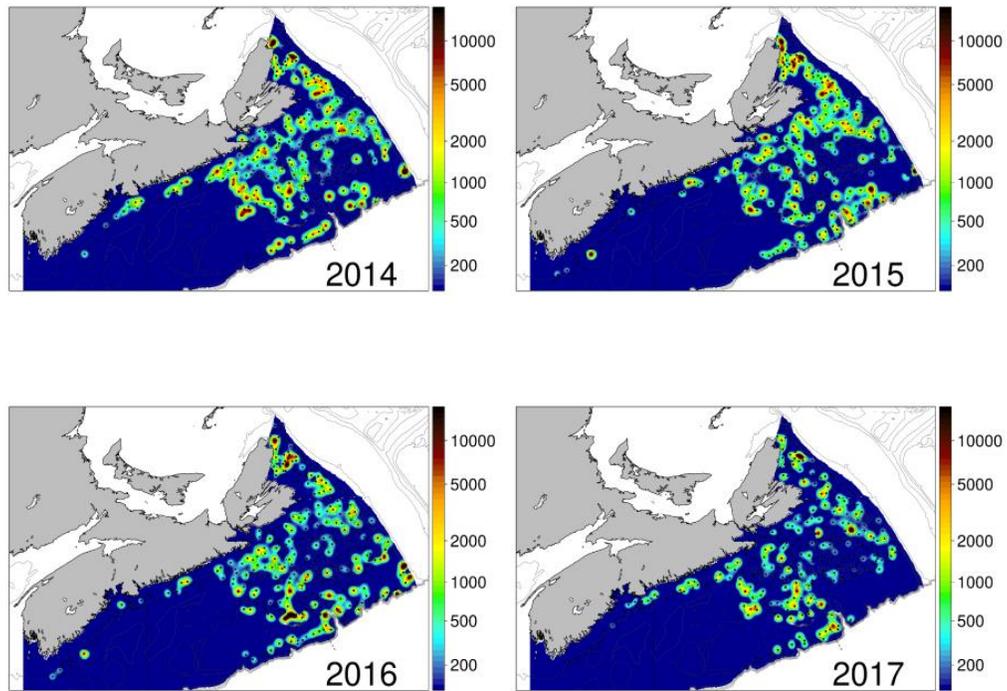


Figure 29. Emplacements des prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **morue franche**. L'échelle est $\frac{\text{nombre}}{\text{km}^2}$.

Biomasse de la morue (Atlantique)

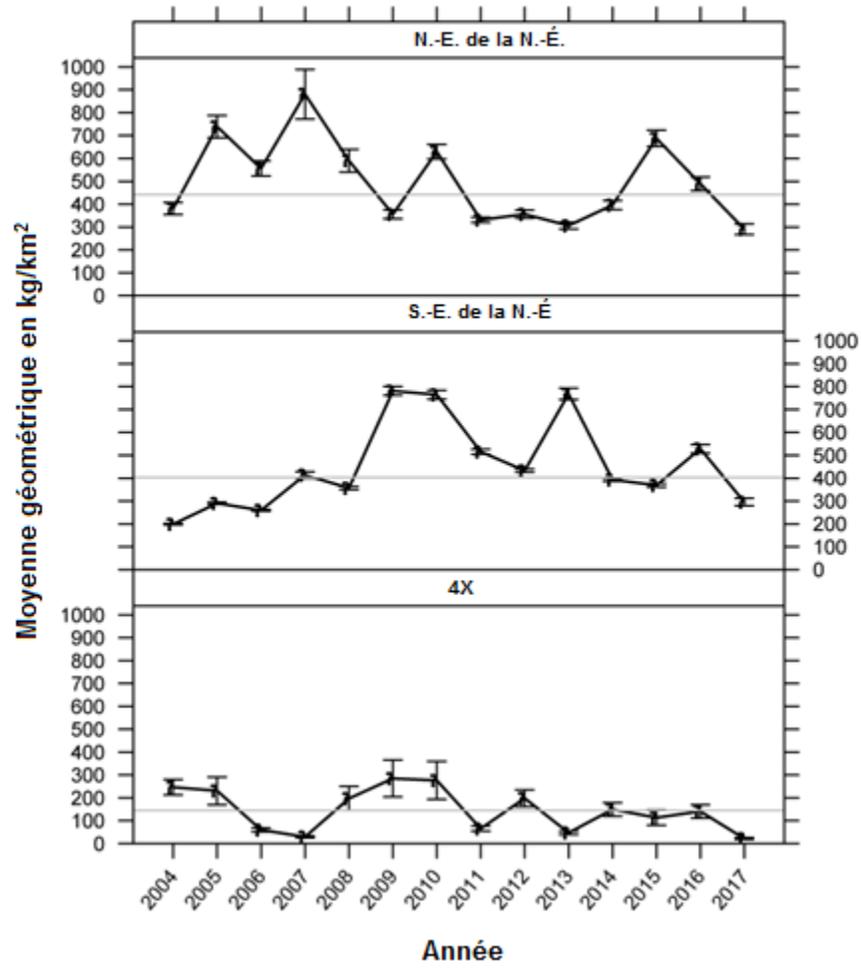


Figure 30. Tendances de la biomasse $\frac{kg}{km^2}$ issues du relevé annuel du crabe des neiges pour les prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **morue franche**.

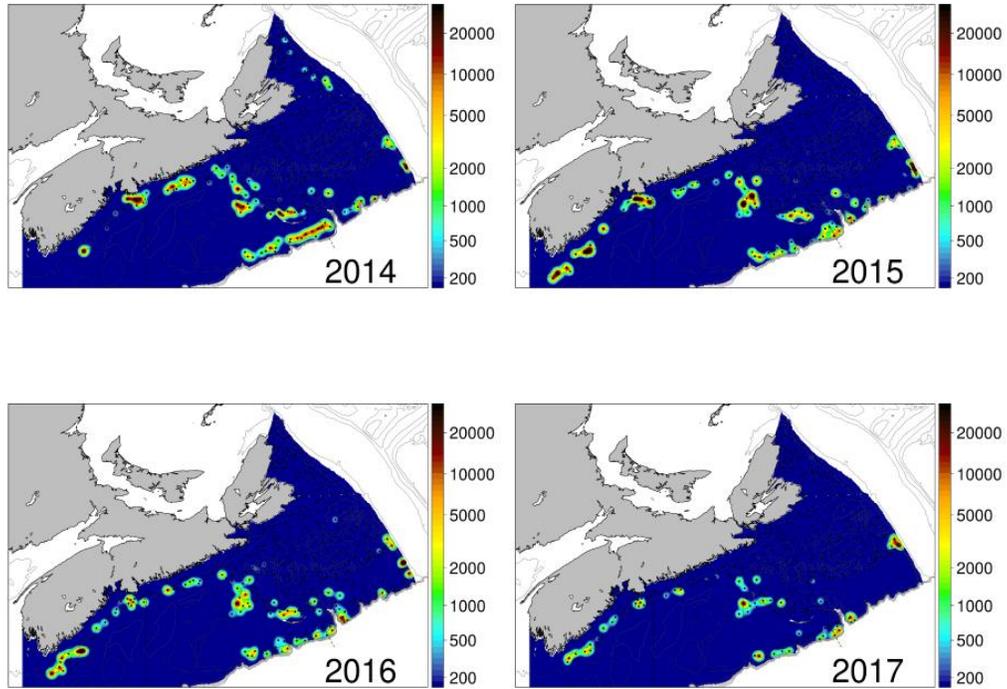


Figure 31. Emplacements des prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **aiglefin**. L'échelle est $\frac{\text{nombre}}{\text{km}^2}$.

Biomasse de l'aiglefin

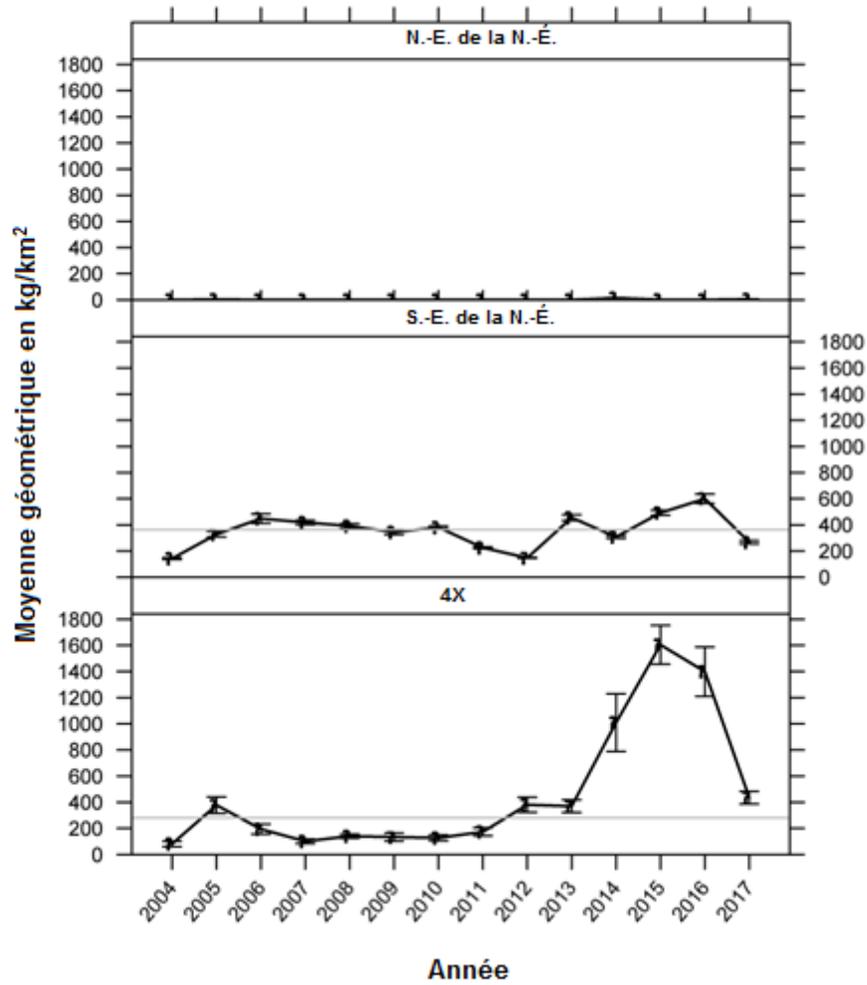


Figure 32. Tendances de la biomasse $\frac{kg}{km^2}$ issues du relevé annuel du crabe des neiges pour les prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **aiglefin**.

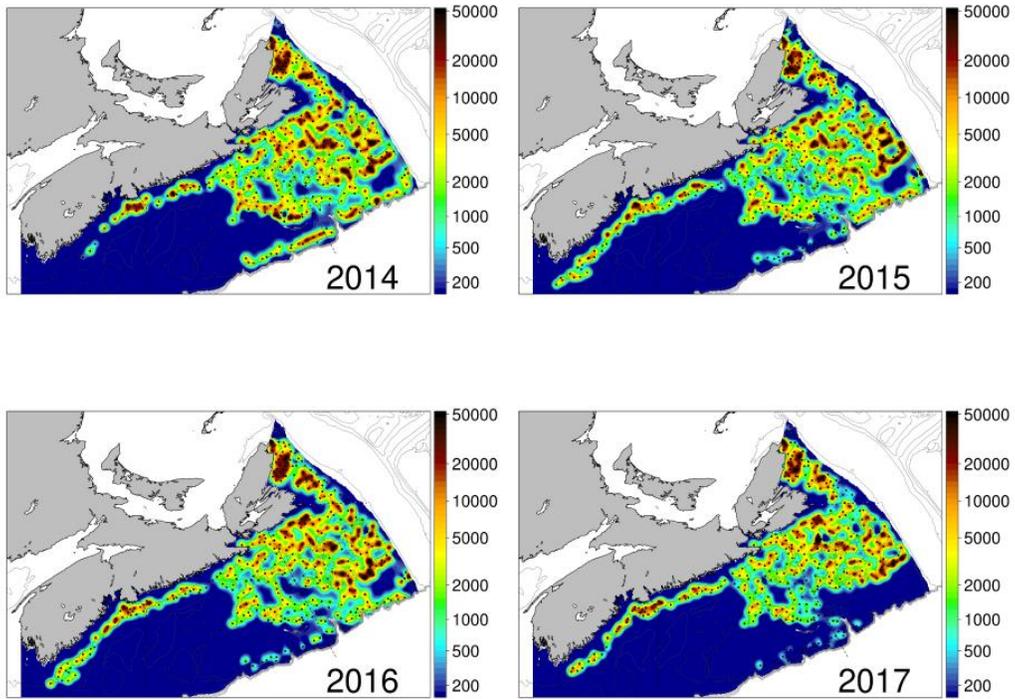


Figure 33. Emplacements des prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **plie canadienne**. L'échelle est $\frac{\text{nombre}}{\text{km}^2}$.

Biomasse de la plie canadienne

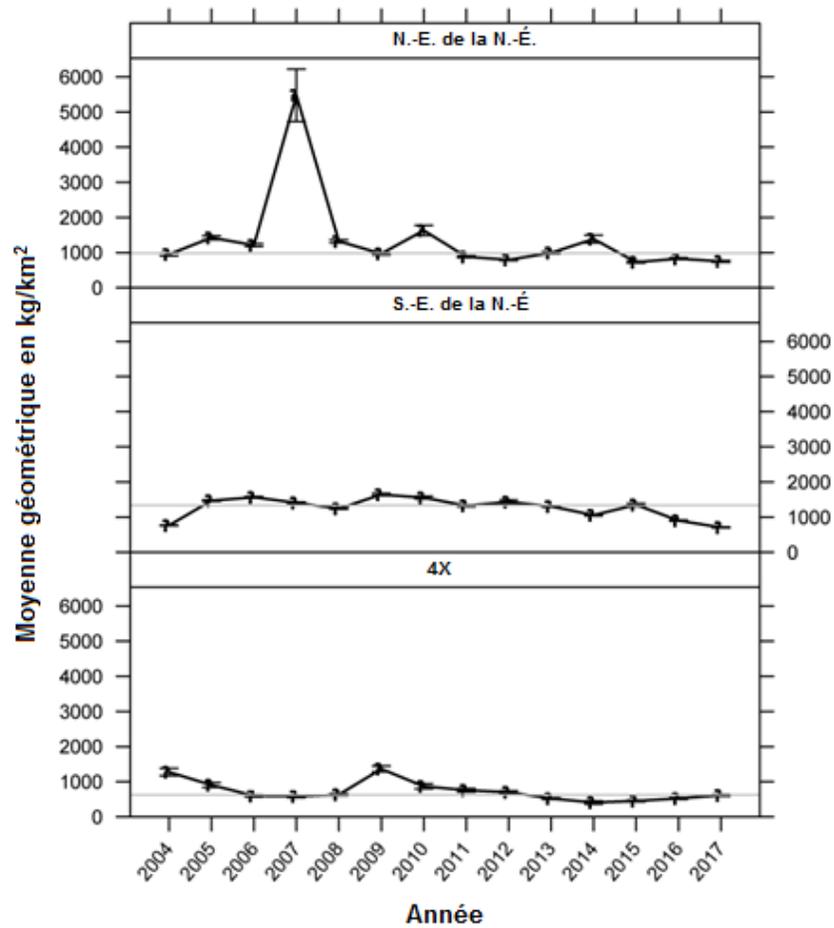


Figure 34. Tendances de la biomasse $\frac{kg}{km^2}$ issues du relevé annuel du crabe des neiges pour les prédateurs potentiels du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **plie canadienne**.

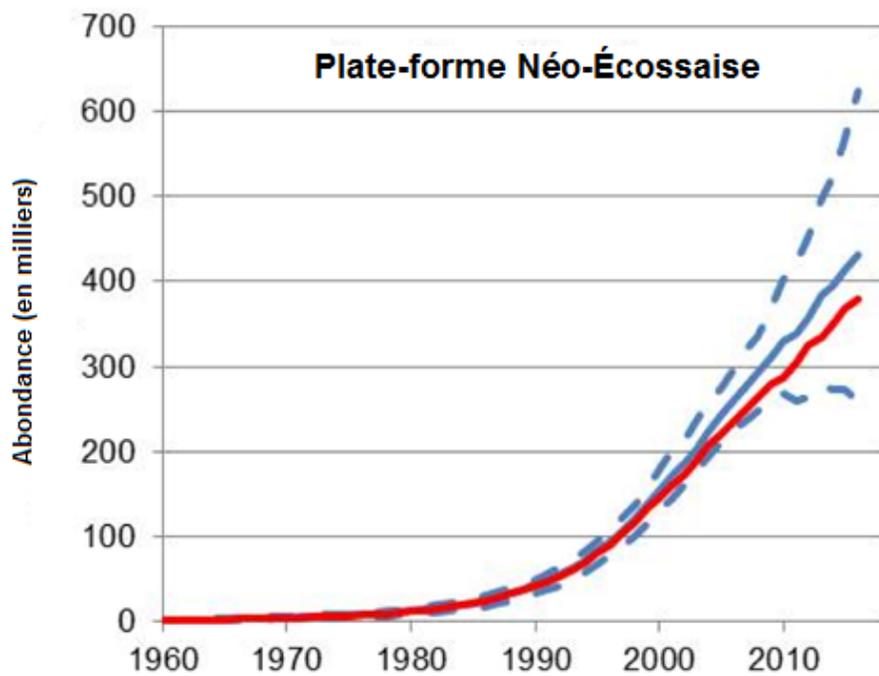


Figure 35. Tendances de l'abondance numérique du phoque gris de l'Atlantique Nord-Ouest. La ligne bleue est de 1:1 pour les mâles; pour les femelles, la ligne rouge est de 0,69:1. Source : MPO 2017a.

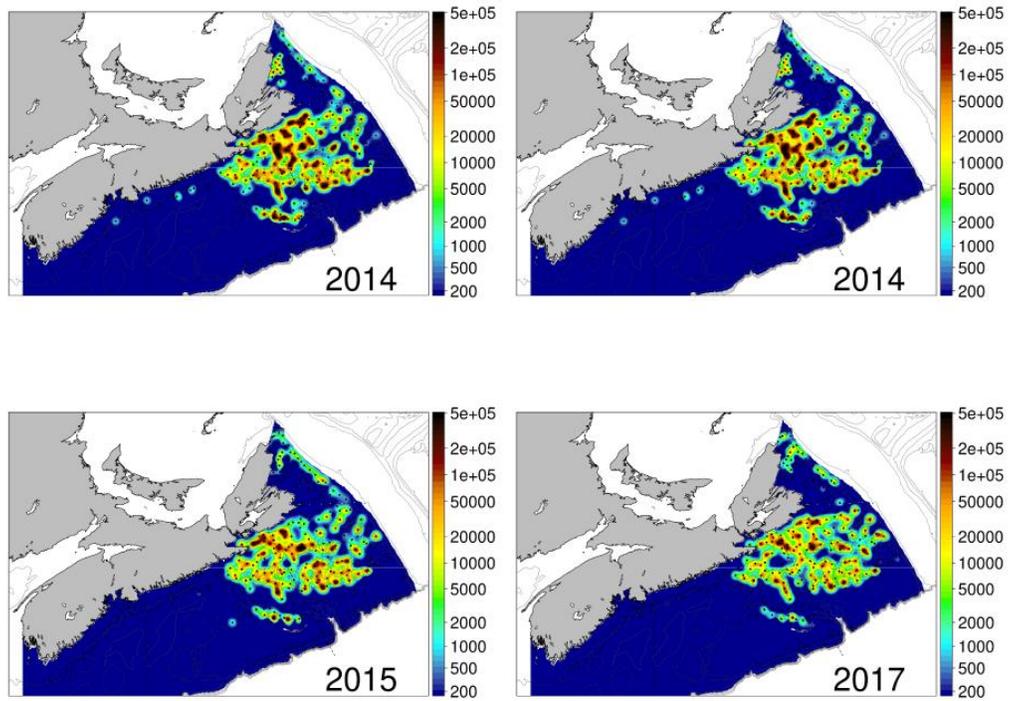


Figure 36. Emplacements des proies potentielles du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **crevette nordique**. L'échelle est $\frac{\text{nombre}}{\text{km}^2}$.

Biomasse de la crevette nordique

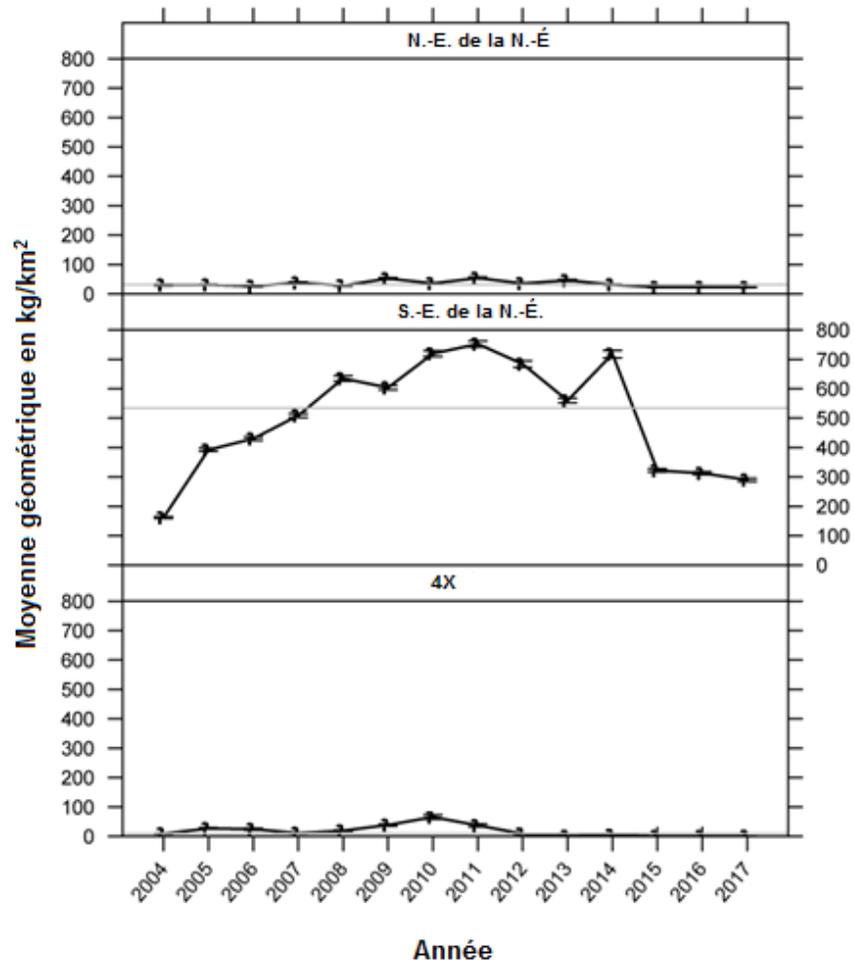


Figure 37. Tendances de la biomasse $\frac{kg}{km^2}$ issues du relevé annuel du crabe des neiges pour les proies potentielles du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **crevette nordique**.

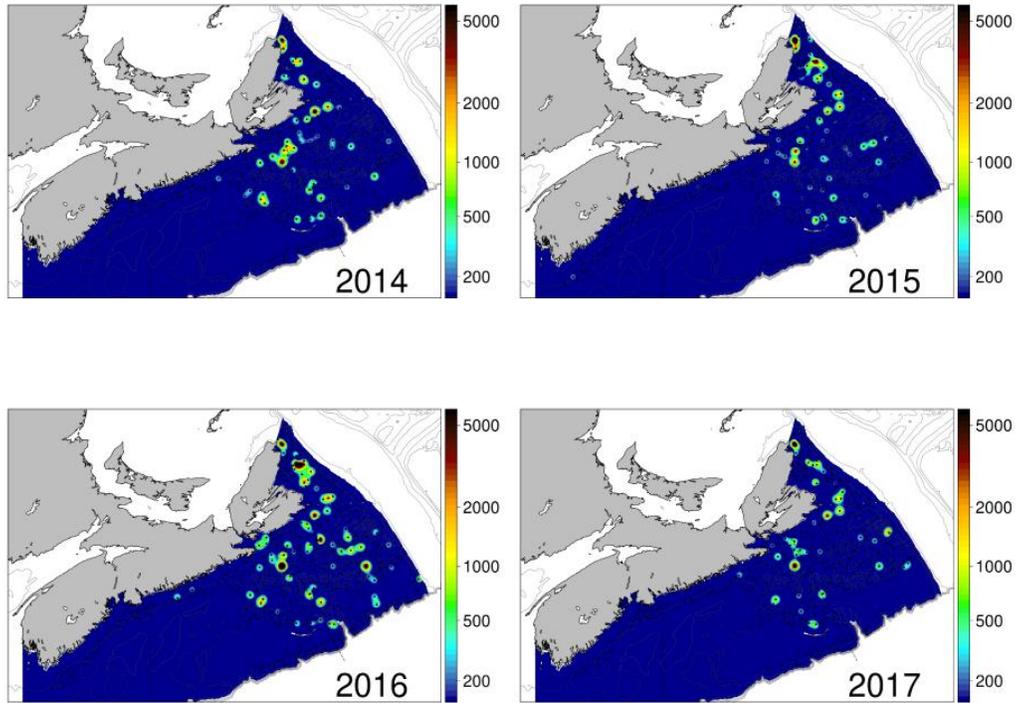


Figure 38. Lieux de concurrence potentielle du crabe des neiges sur la plateau néo-écossais : **crabe-araignée**. L'échelle est $\frac{\text{nombre}}{\text{km}^2}$.

Biomasse du crabe lyre (Hyas Coarctatus)

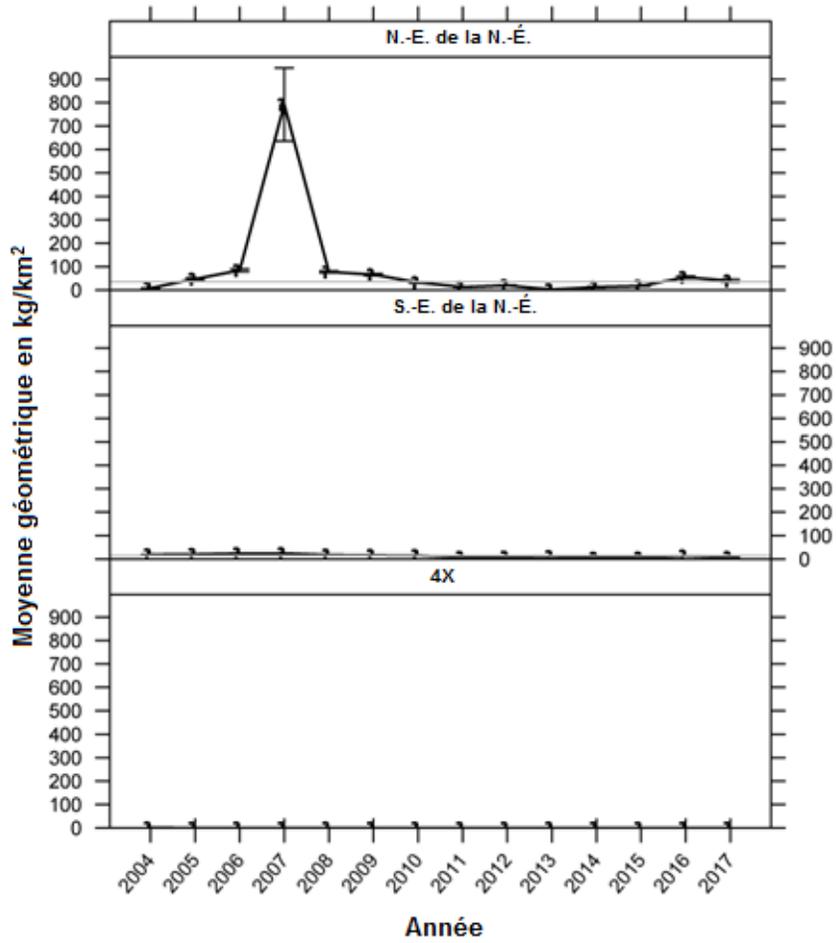


Figure 39. Tendances de la biomasse $\frac{kg}{km^2}$ issues du relevé annuel du crabe des neiges pour la concurrence potentielle du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **crabe-araignée**.

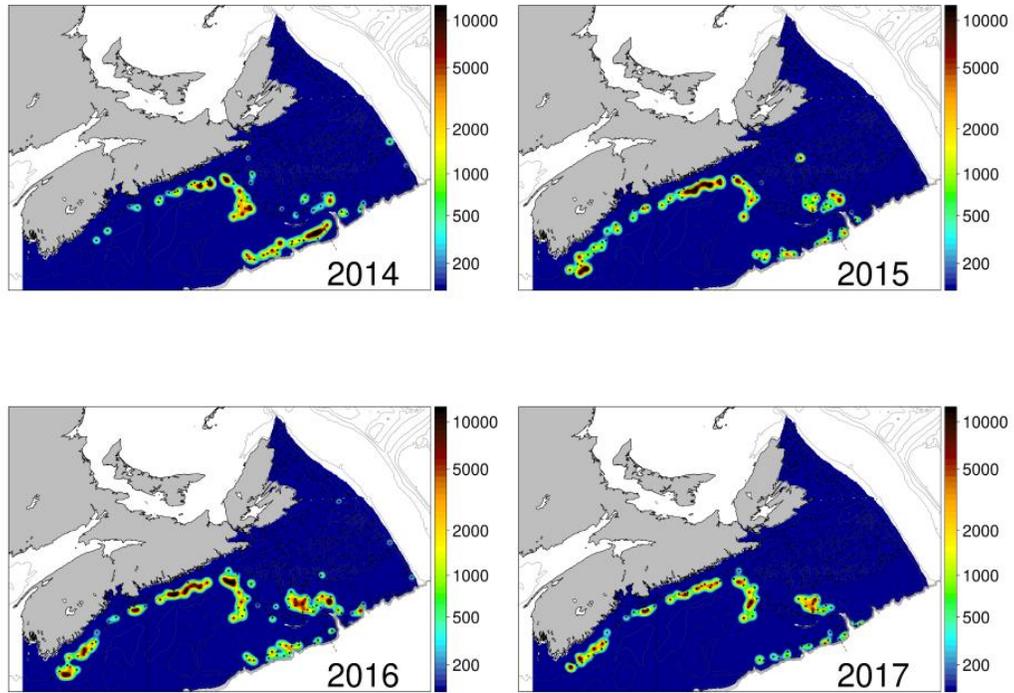


Figure 40. Lieux de concurrence potentielle du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **crabe nordique**. L'échelle est $\frac{\text{nombre}}{\text{km}^2}$.

Biomasse du crabe nordique

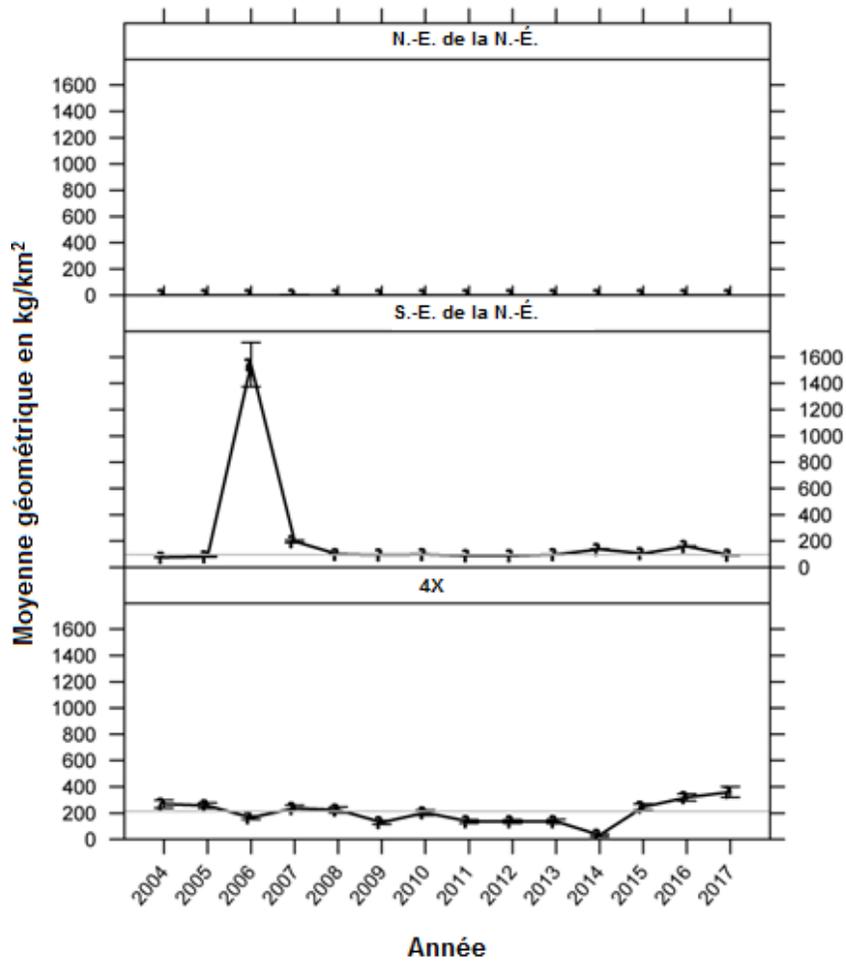


Figure 41. Tendances de la biomasse $\frac{kg}{km^2}$ issues du relevé annuel du crabe des neiges pour la concurrence potentielle du crabe des neiges sur le plateau néo-écossais : **crabe nordique**.

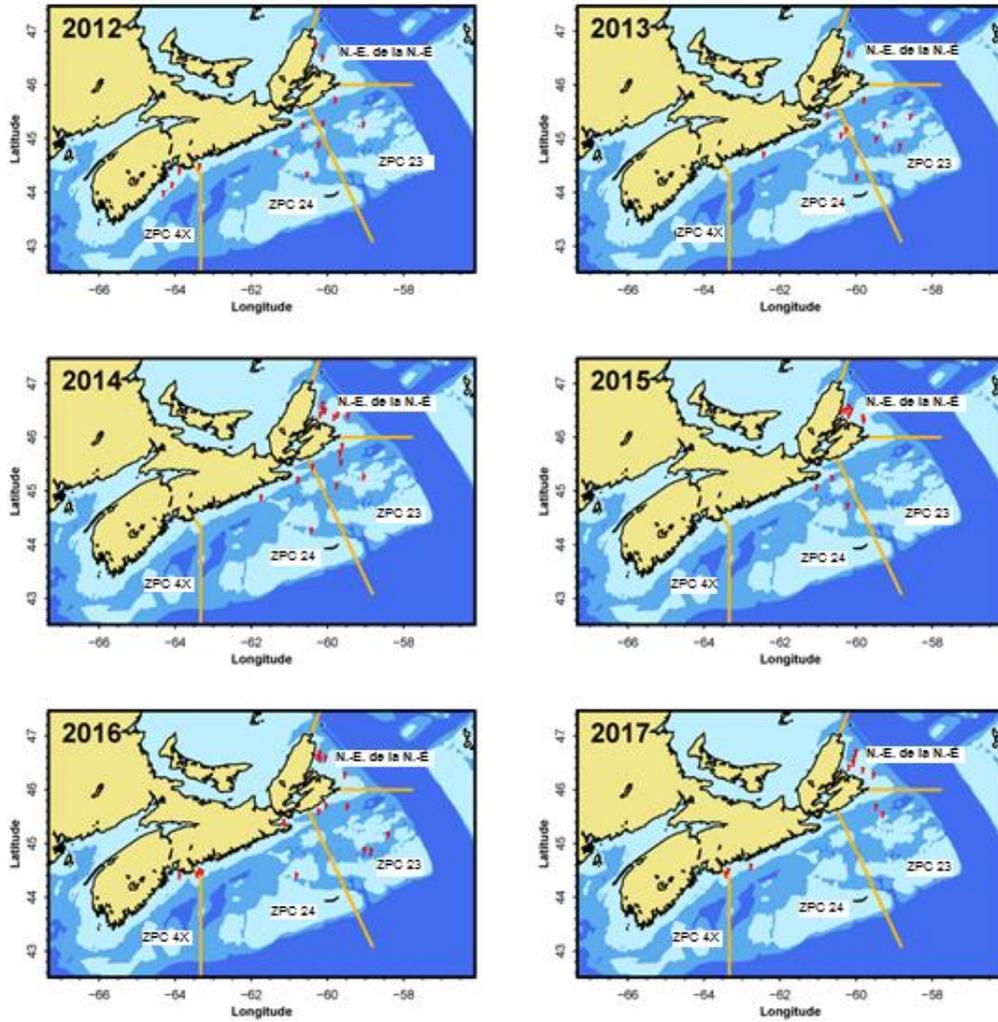


Figure 42. Emplacements annuels des observations de la maladie du crabe amer dans le relevé au chalut du crabe des neiges.

MCA, E.N.-É. (+) crabe des neiges

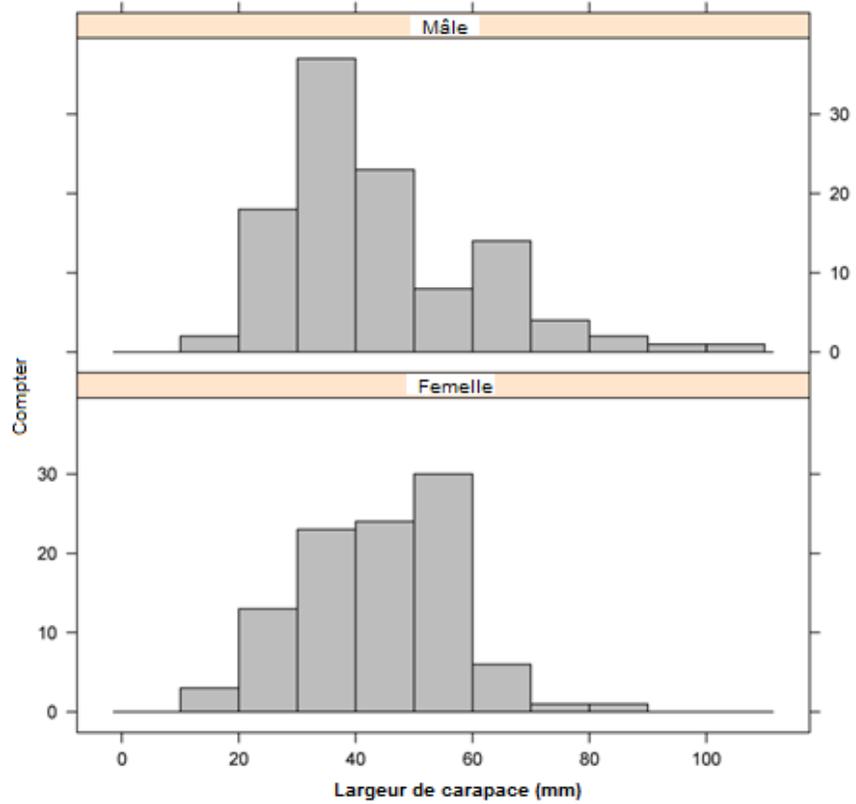


Figure 43. Répartition de la fréquence des tailles de crabe des neiges visiblement infecté par la maladie du crabe amer de 2009 à aujourd'hui.

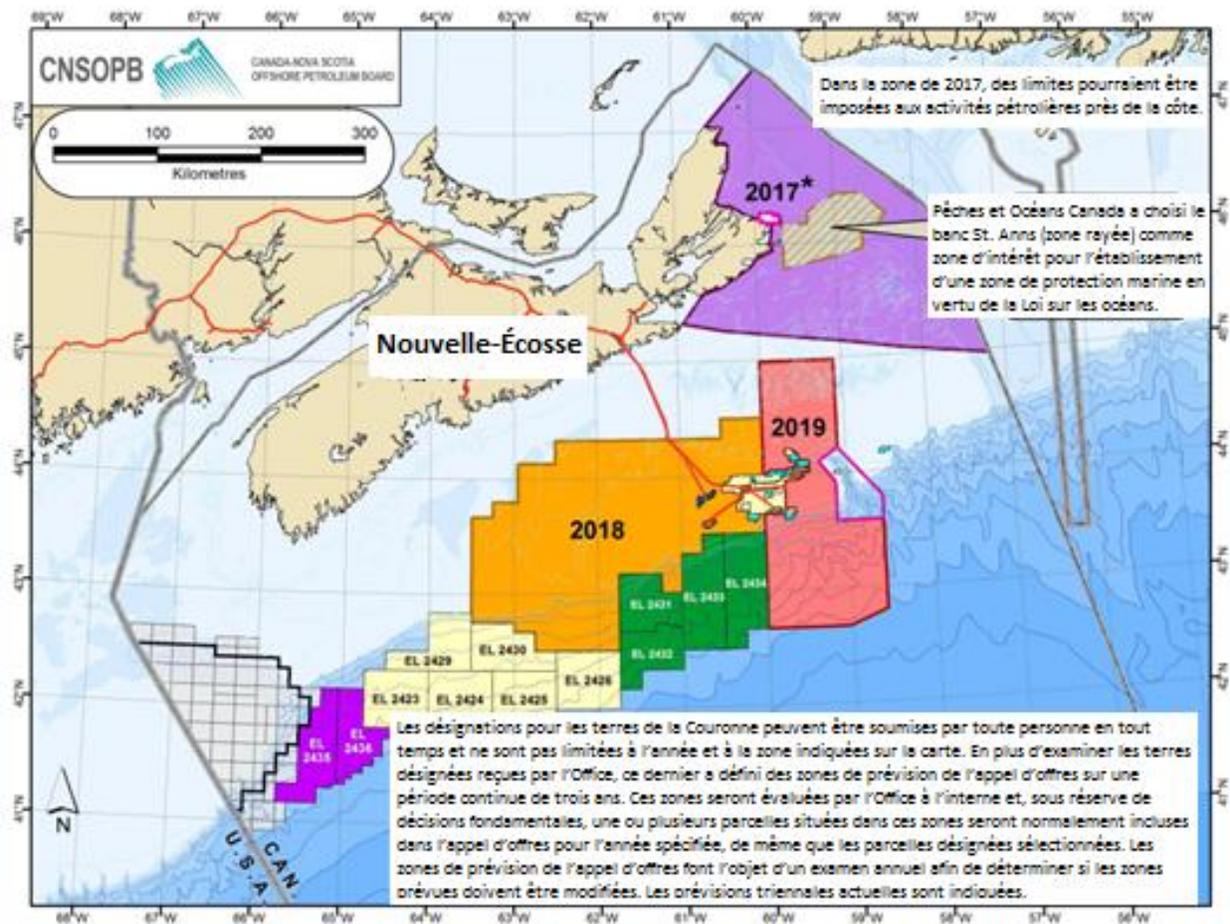


Figure 44. Carte de l'appel d'offres actuel de l'Office canadien des hydrocarbures extracôtiers de la Nouvelle-Écosse pour l'exploration.

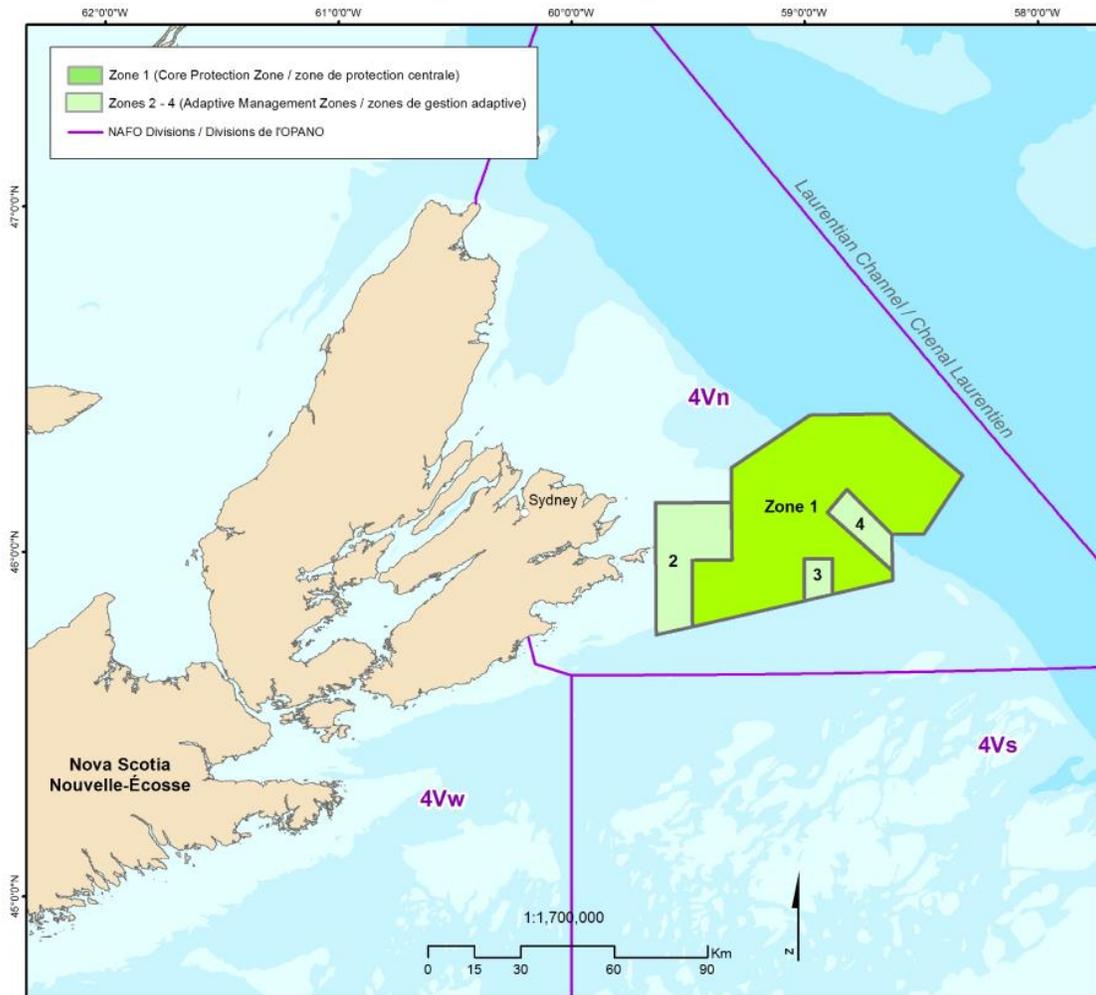


Figure 45. Zone de protection marine (ZPM) du banc de Saint-Anne avec désignation de sous-zones. Cette zone a reçu la désignation officielle de ZPM en 2017.

Débarquements printaniers

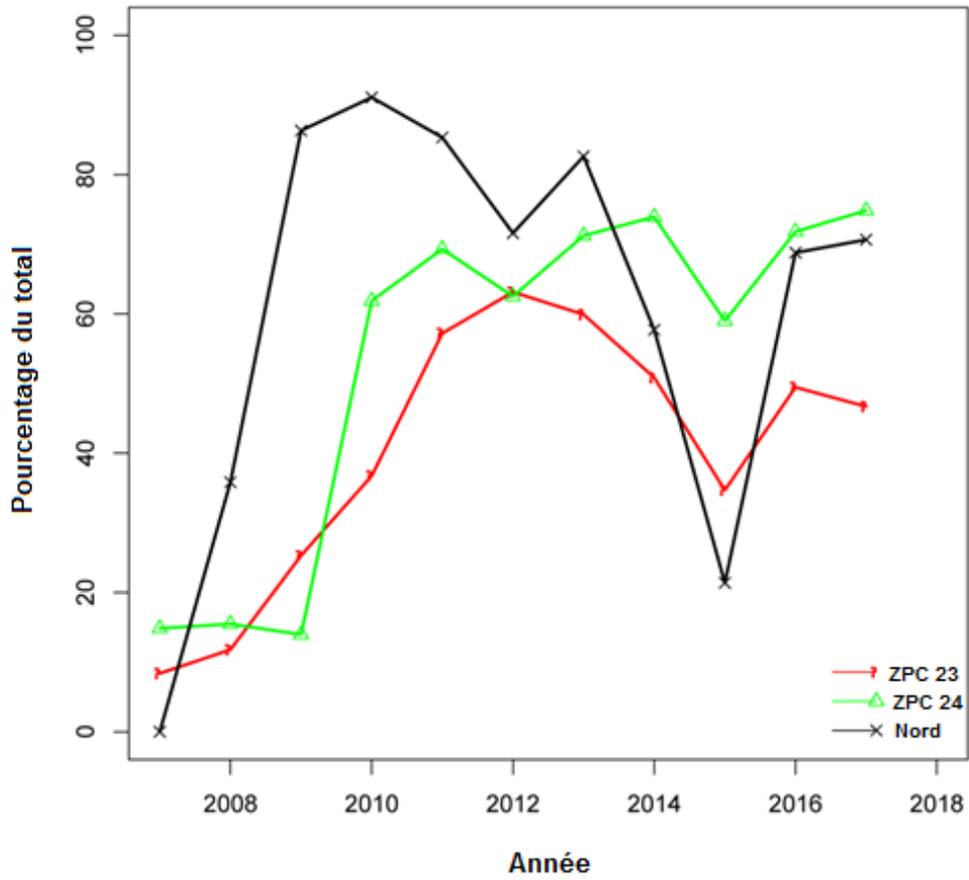


Figure 46. Pourcentage du total annuel des débarquements de crabe des neiges capturés au cours des mois d'avril à juin séparés par une zone de pêche du crabe (ZPC).

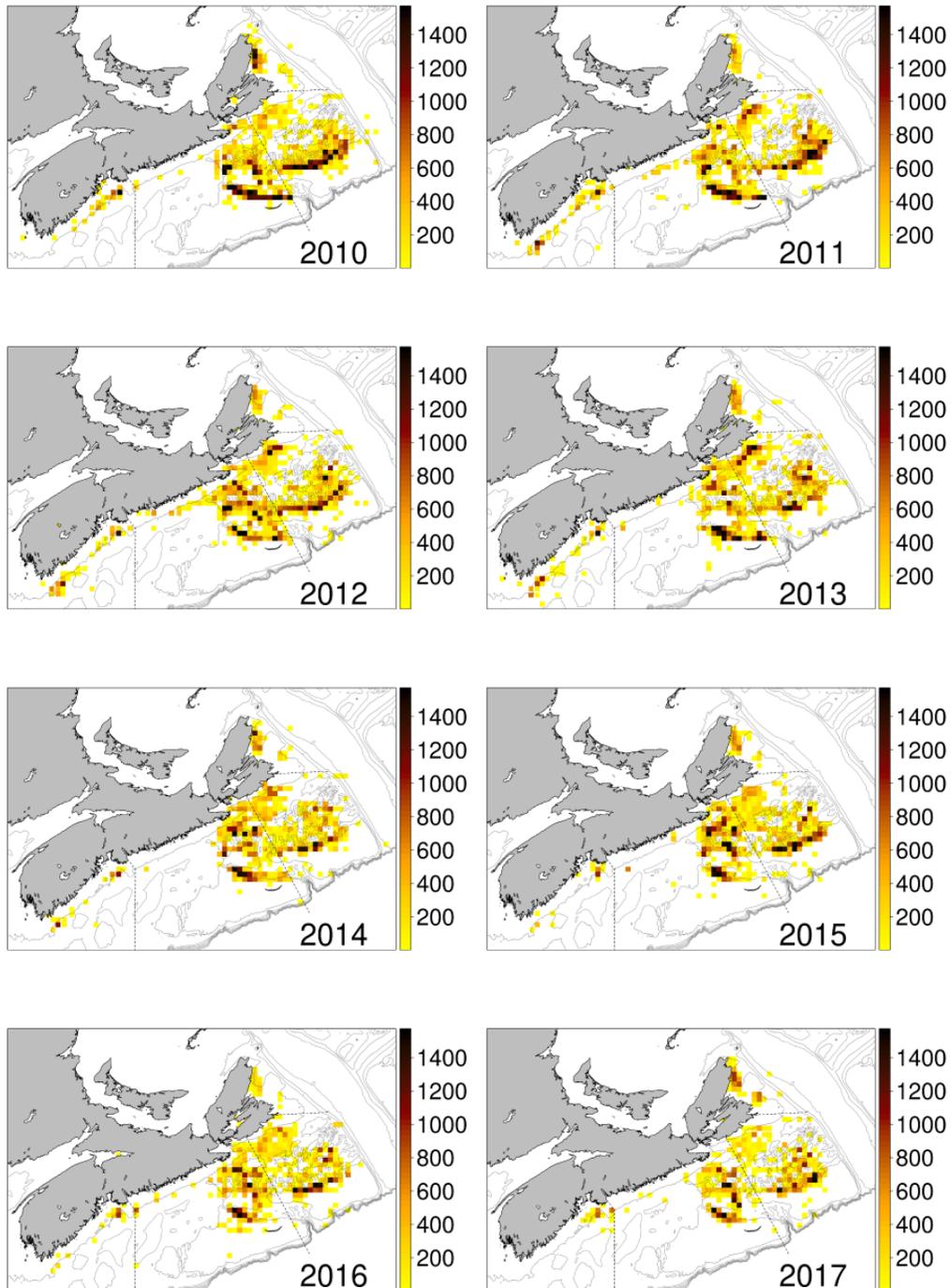


Figure 47. Effort de pêche (nombre de casiers levés/grille 10 x 10 km) d'après les données du journal de pêche. Il convient de noter l'augmentation de l'effort de pêche côtière dans le S.-E. de la N.-É. et l'absence presque totale d'activité de pêche dans la zone de la fosse de Glace Bay (au large des côtes) du N.-E. de la N.-É. Pour ce qui est de la ZPC 4X, l'année indiquée est celle du début de la saison.

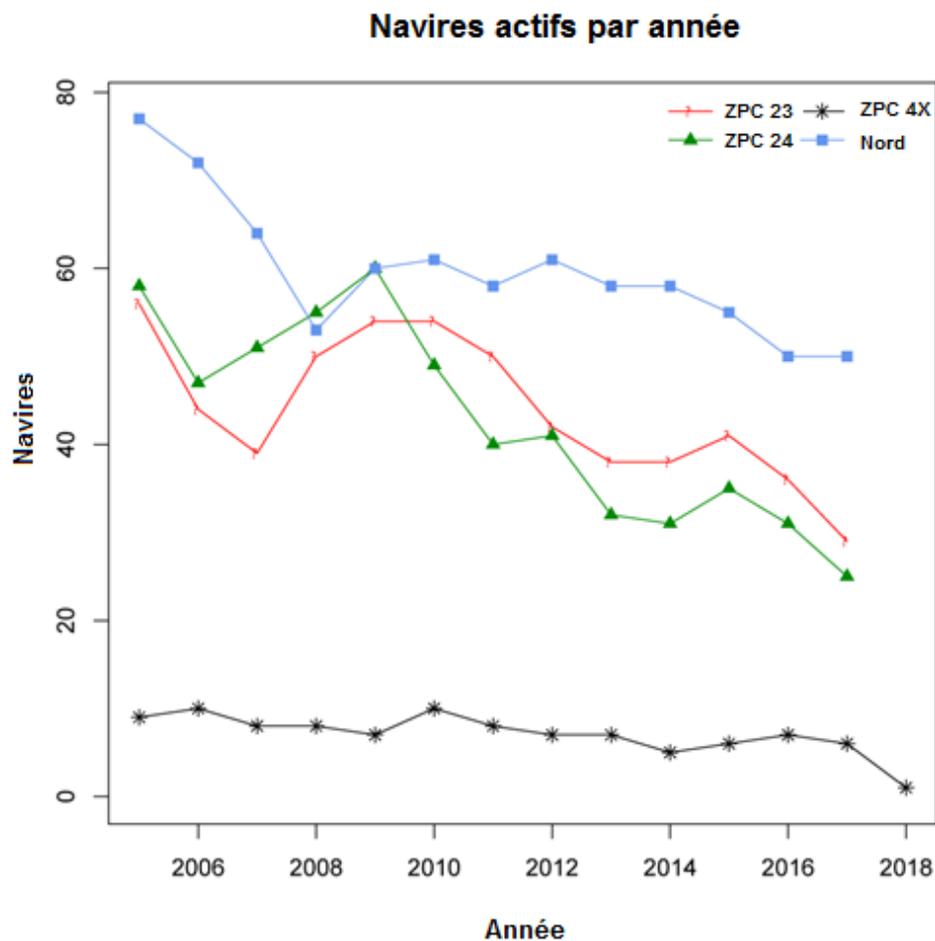


Figure 48. Nombre de bateaux actifs pêchant dans chacune des zones de pêche du crabe des neiges de la PNE. Le S.-E. de la N.-É. est divisé en ZPC 23 et ZPC 24 afin d'assurer la cohérence avec les renseignements historiques. Le nombre de permis dans chaque zone est stable depuis 2004.

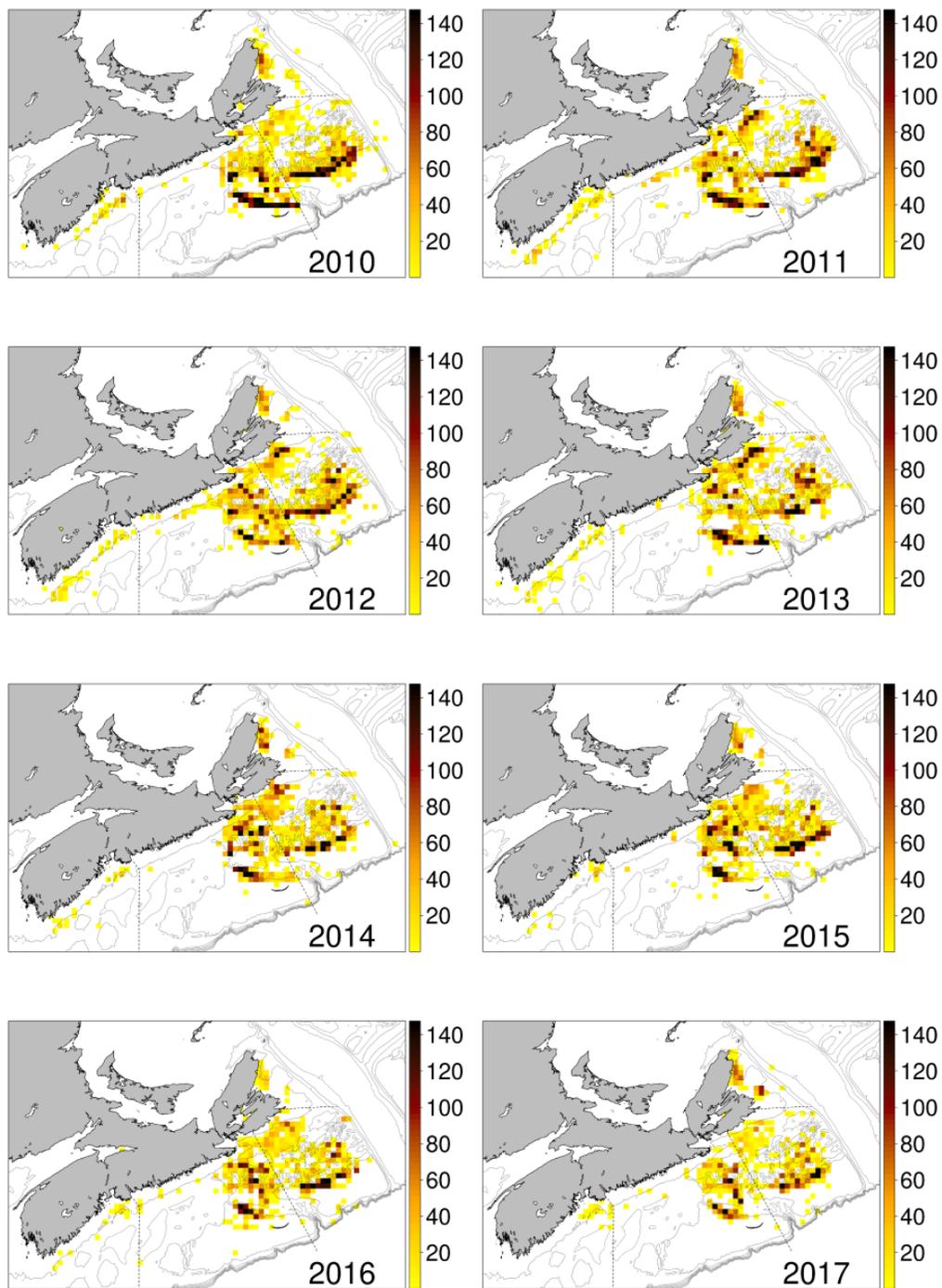


Figure 49. Débarquements de crabe des neiges (tonnes/quadrillage de 10 x 10 km) d'après les données du journal de pêche. Pour ce qui est de la ZPC 4X, l'année indiquée est celle du début de la saison.

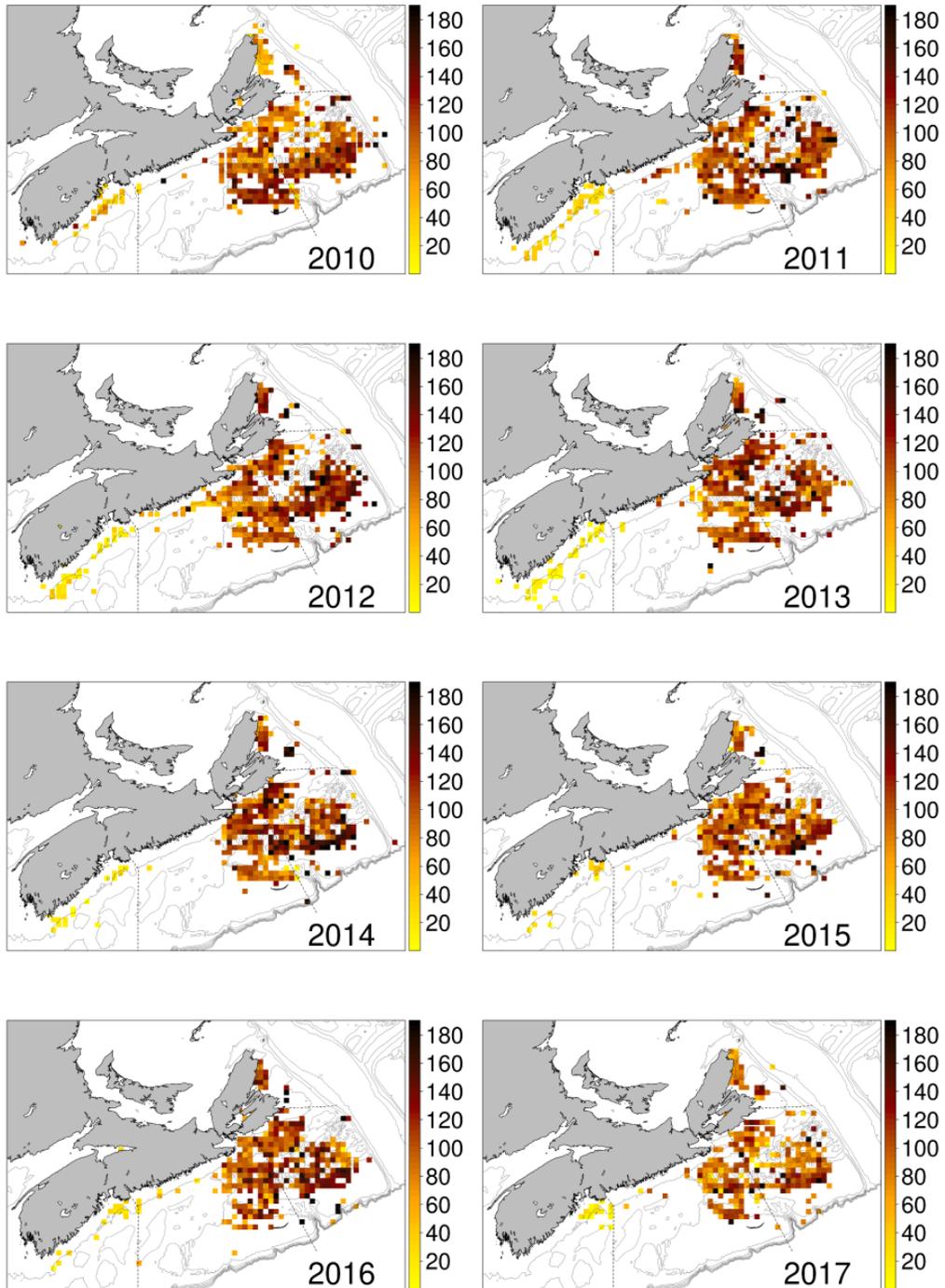


Figure 50. Taux de prises (kg/casier) de crabe des neiges dans chaque quadrillage de 10 x 10 km, d'après les données du journal de pêche. Pour ce qui est de la ZPC 4X, l'année indiquée est celle du début de la saison.

CPUE hebdomadaire

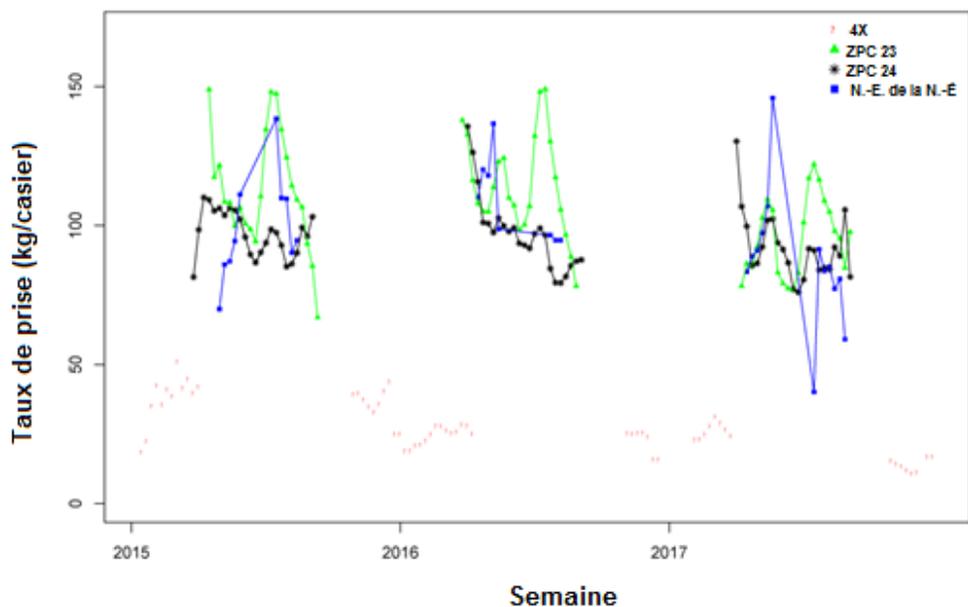


Figure 51. Taux de capture lissés (kg/casier) par semaine au cours des trois dernières saisons. La division de la saison dans le N.-E. de la N.-É. (parties printanière et estivale) crée l'écart apparent dans les données du N.-E. de la N.-É. pour chaque année.

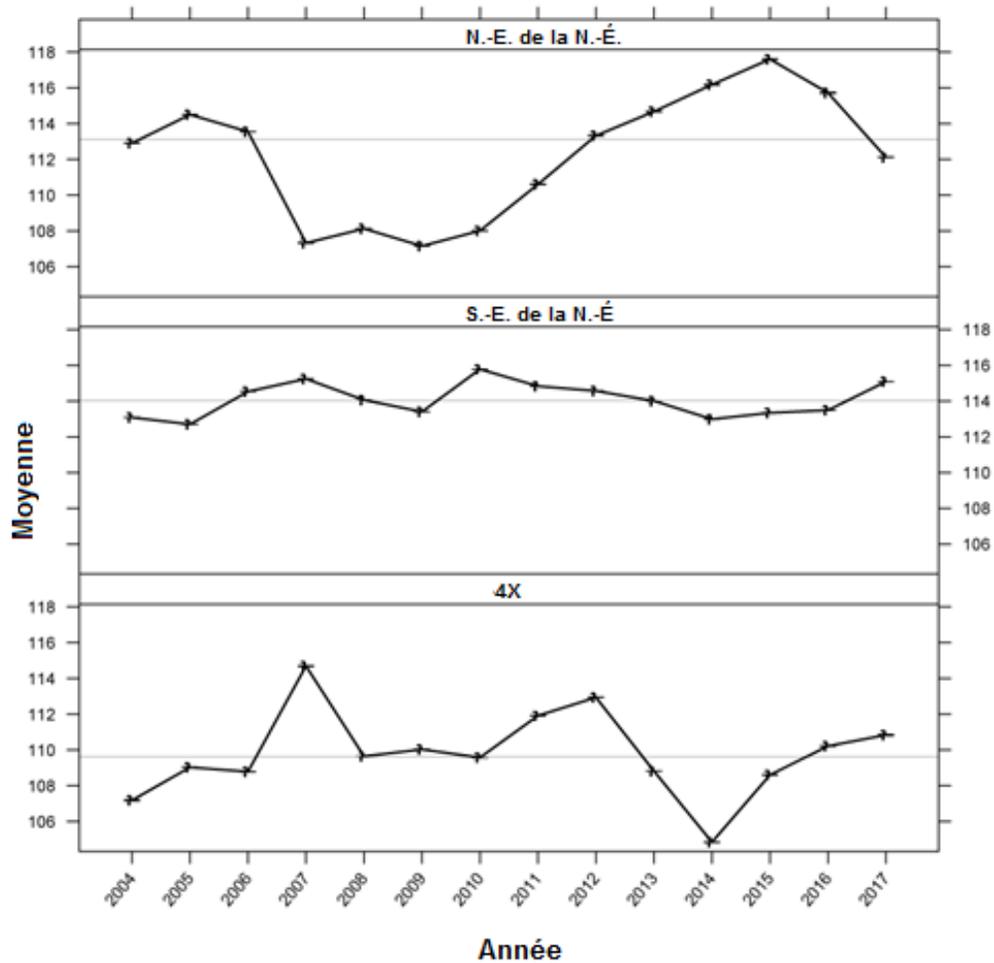


Figure 52. Série chronologique de la largeur de carapace moyenne des crabes commerciaux mesurée par les observateurs en mer. Pour ce qui est de la division 4X, l'année indiquée est celle du début de la saison.

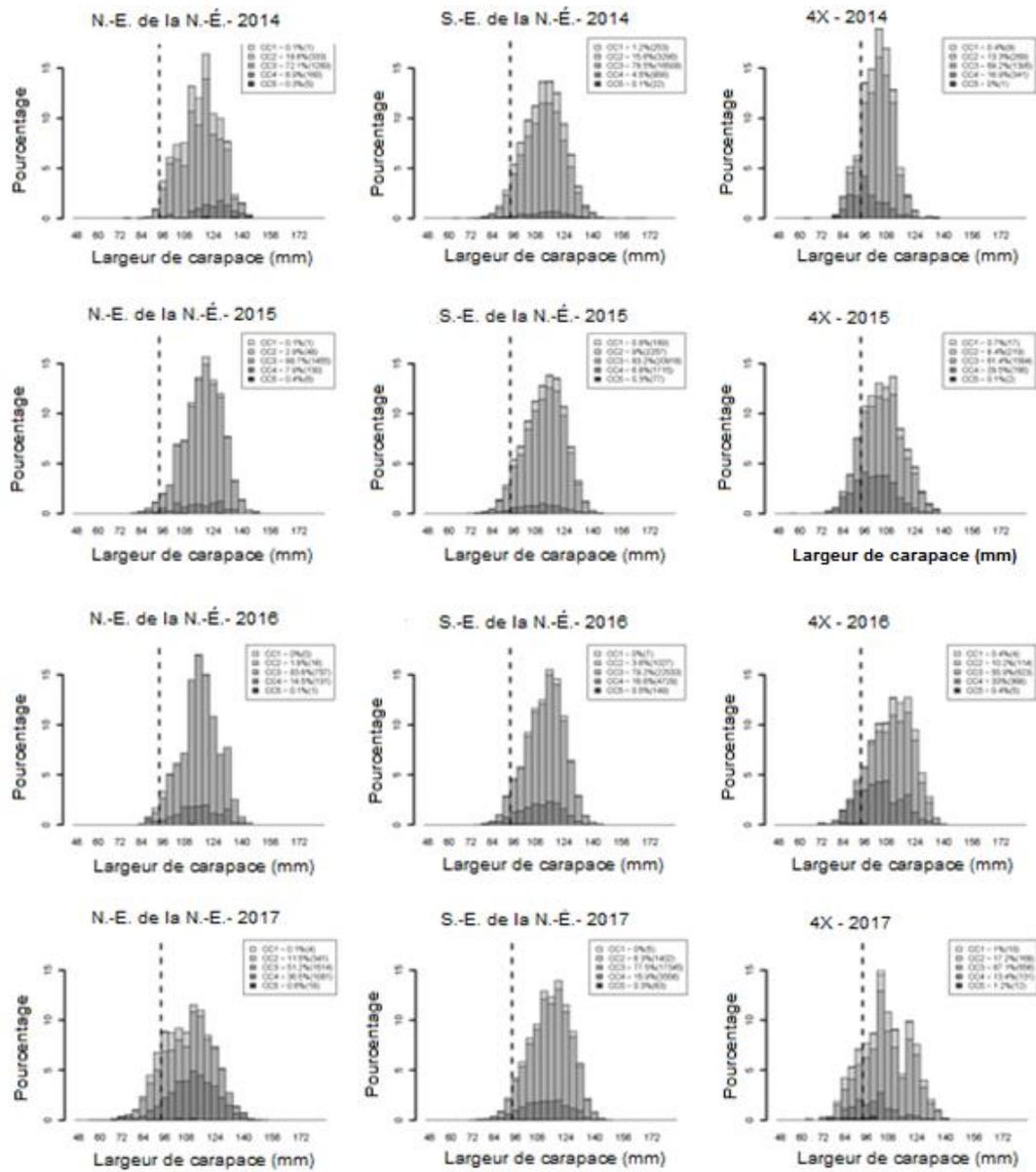


Figure 53. Répartition des fréquences de tailles des crabes des neiges, ventilées par condition de carapace, dans les captures vérifiées par un observateur en mer. Pour ce qui est de 4X, l'année indiquée est celle de la fin de la saison. Les lignes verticales indiquent une largeur de carapace (LC) de 95 mm.

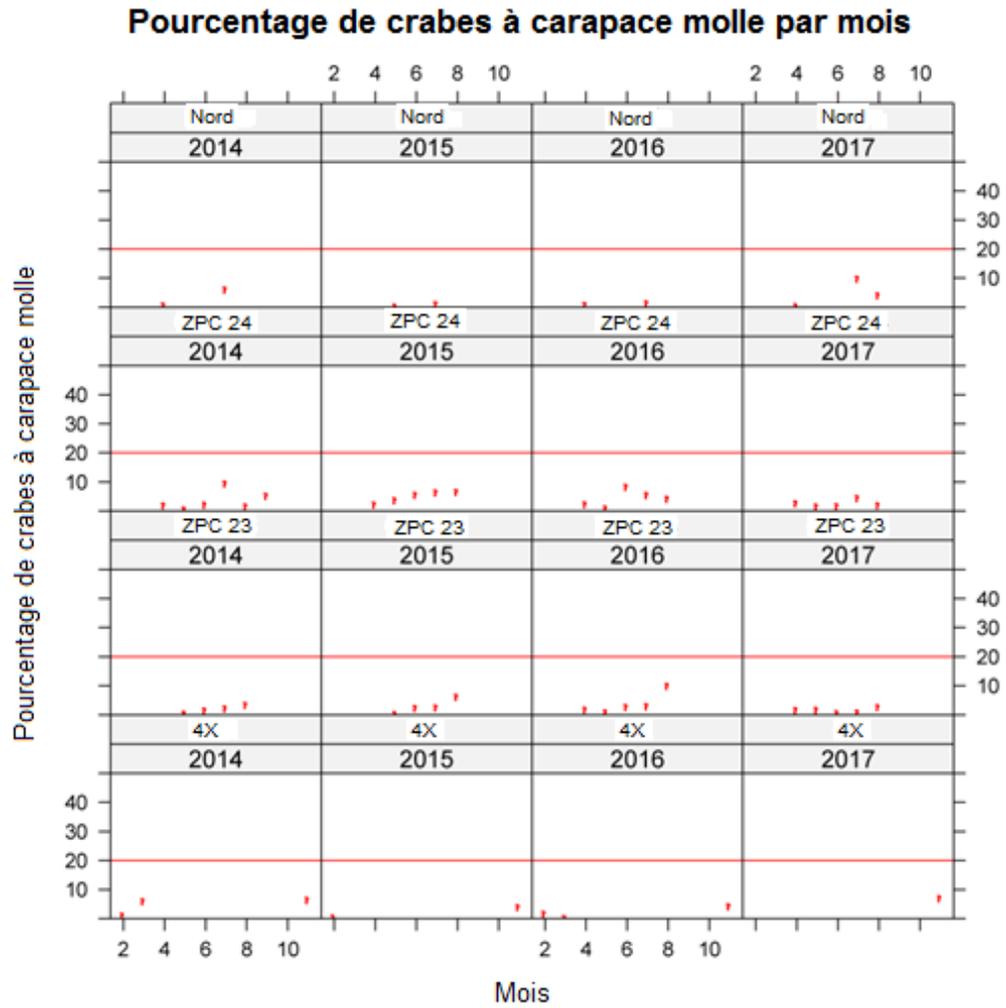


Figure 54. Pourcentage de crabe des neiges échantillonné à l'état de carapace molle (valeur inférieure à 68 au duromètre), déterminé par des observateurs en mer à partir de casiers à crabe des neiges commerciaux.

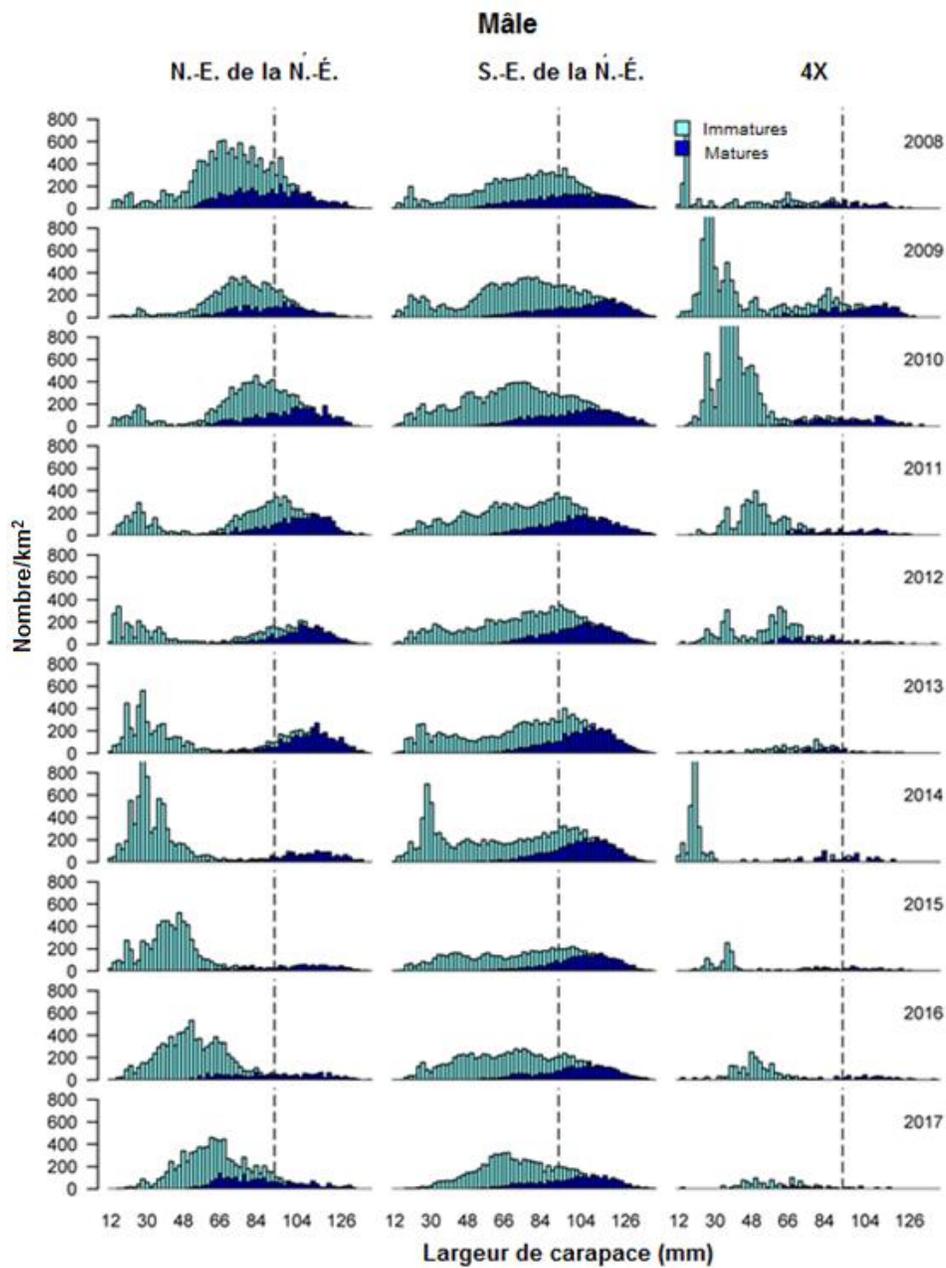


Figure 55. Histogrammes taille-fréquence de la largeur de carapace des crabes des neiges mâles issus du relevé du crabe des neiges.

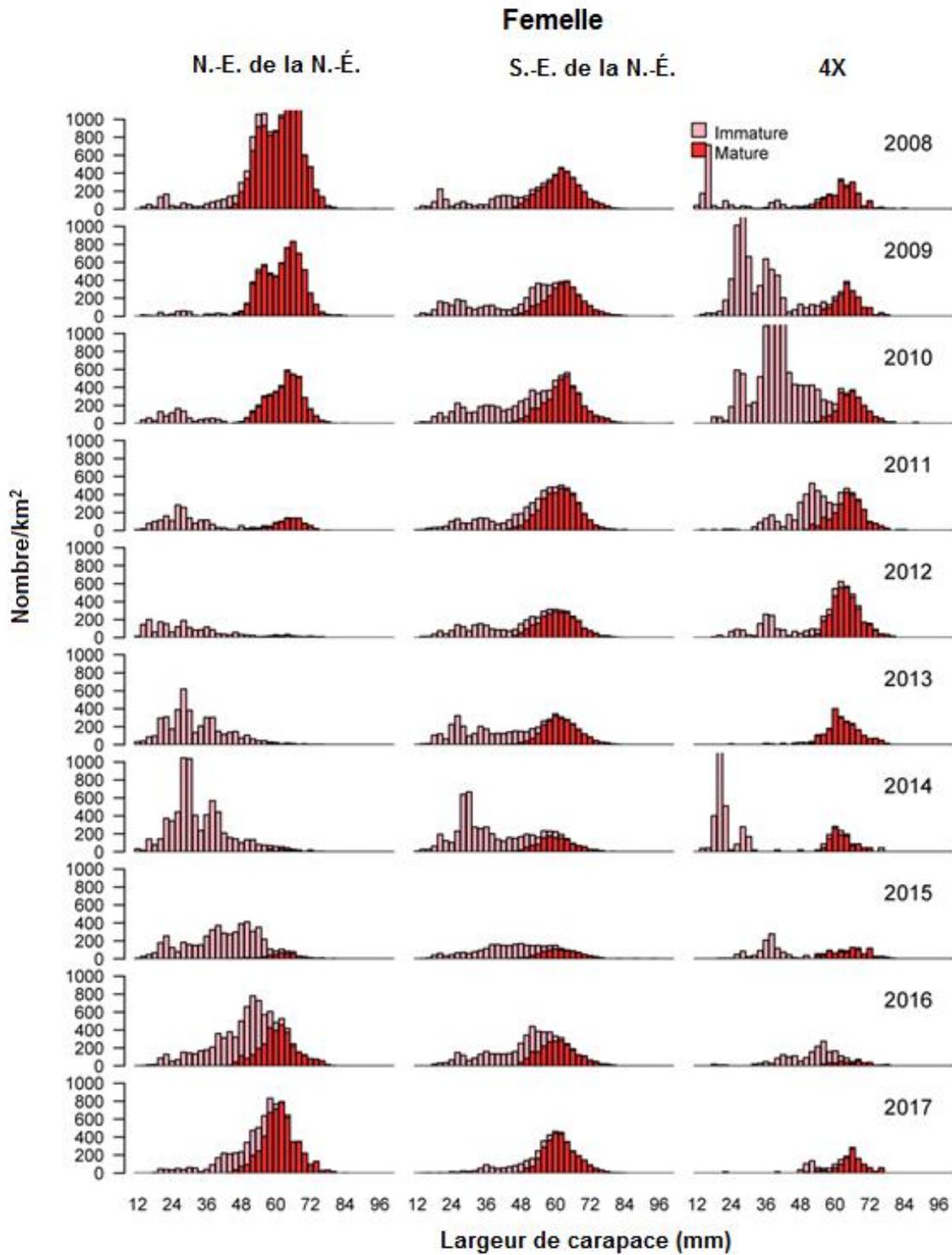


Figure 56. Histogrammes taille-fréquence de la largeur de carapace des crabes des neiges femelles issus du relevé du crabe des neiges.

Sex-ratio des spécimens adultes

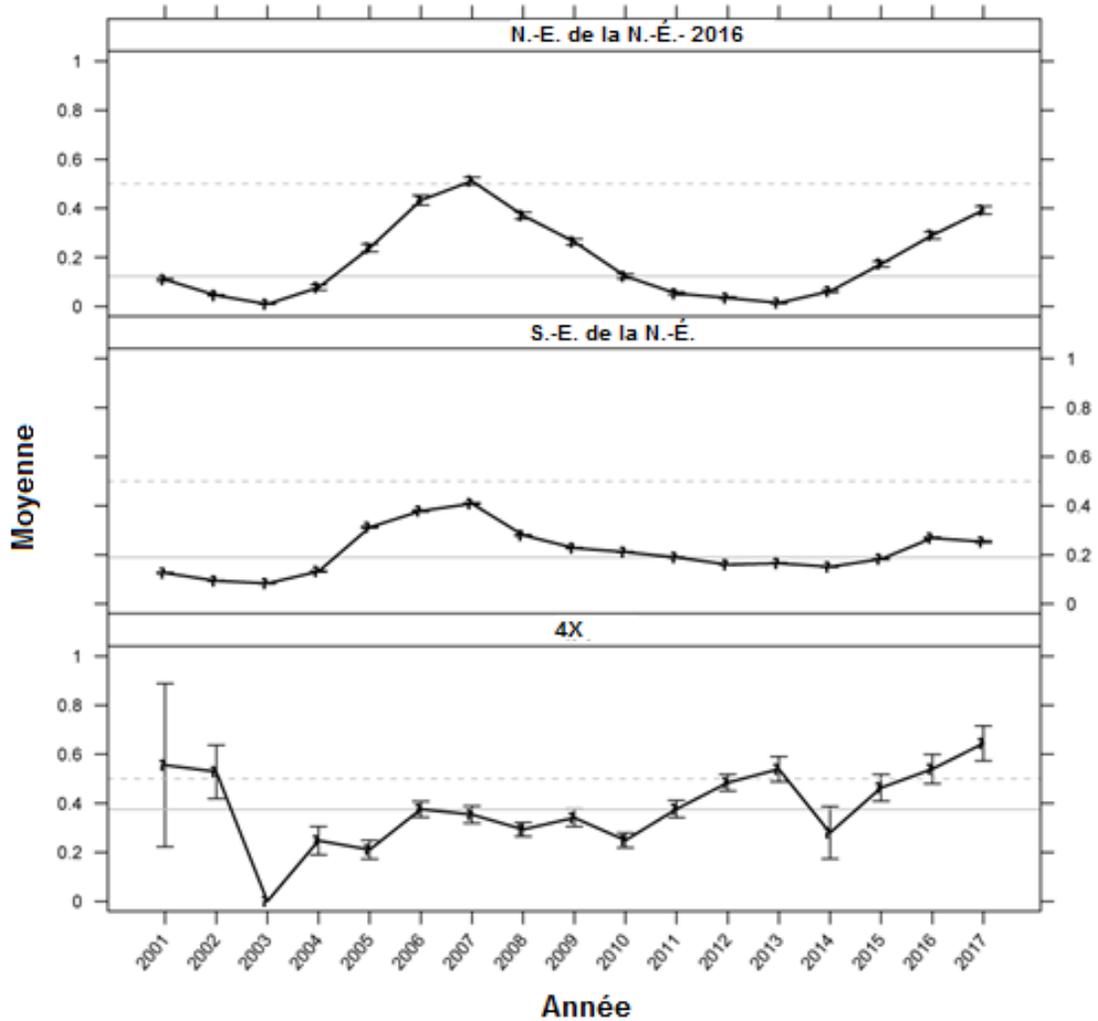


Figure 57. Proportion annuelle de crabes des neiges femelles adultes observée dans le relevé. Depuis 2001, la présence des mâles a été prédominante presque partout sur le plateau néo-écossais. Une barre d'erreur standard est présentée.

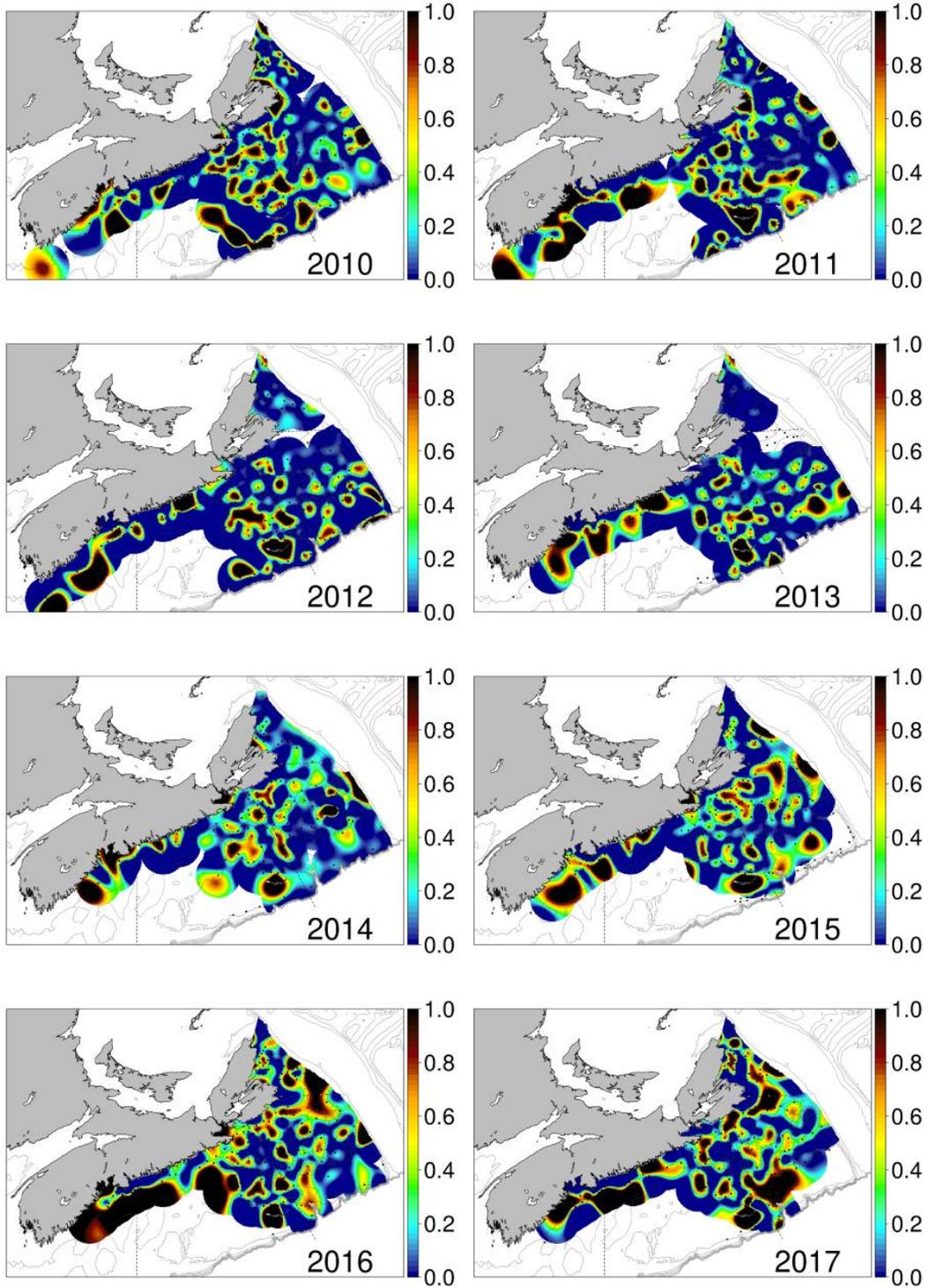


Figure 58. Proportion de femelles dans la fraction mature du segment morphométriquement mature total des crabes des neiges du plateau néo-écossais avec des représentations spatiales générées à l'aide d'interpolations de données du relevé annuel du crabe des neiges par fonction spline des plans affinis.

Sex-ratio Imm

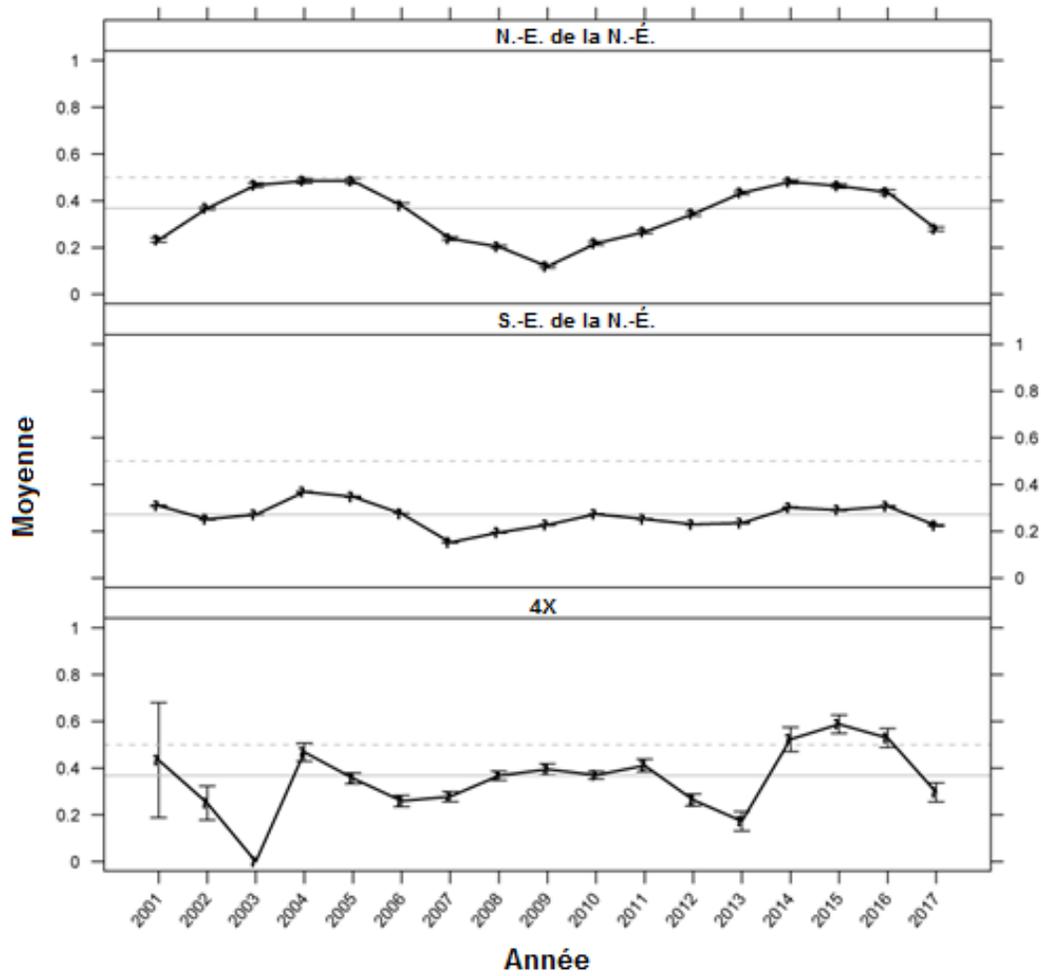


Figure 59. Sex-ratios annuels des sexes (proportion de femelles) du crabe des neiges immature sur le plateau néo-écossais.

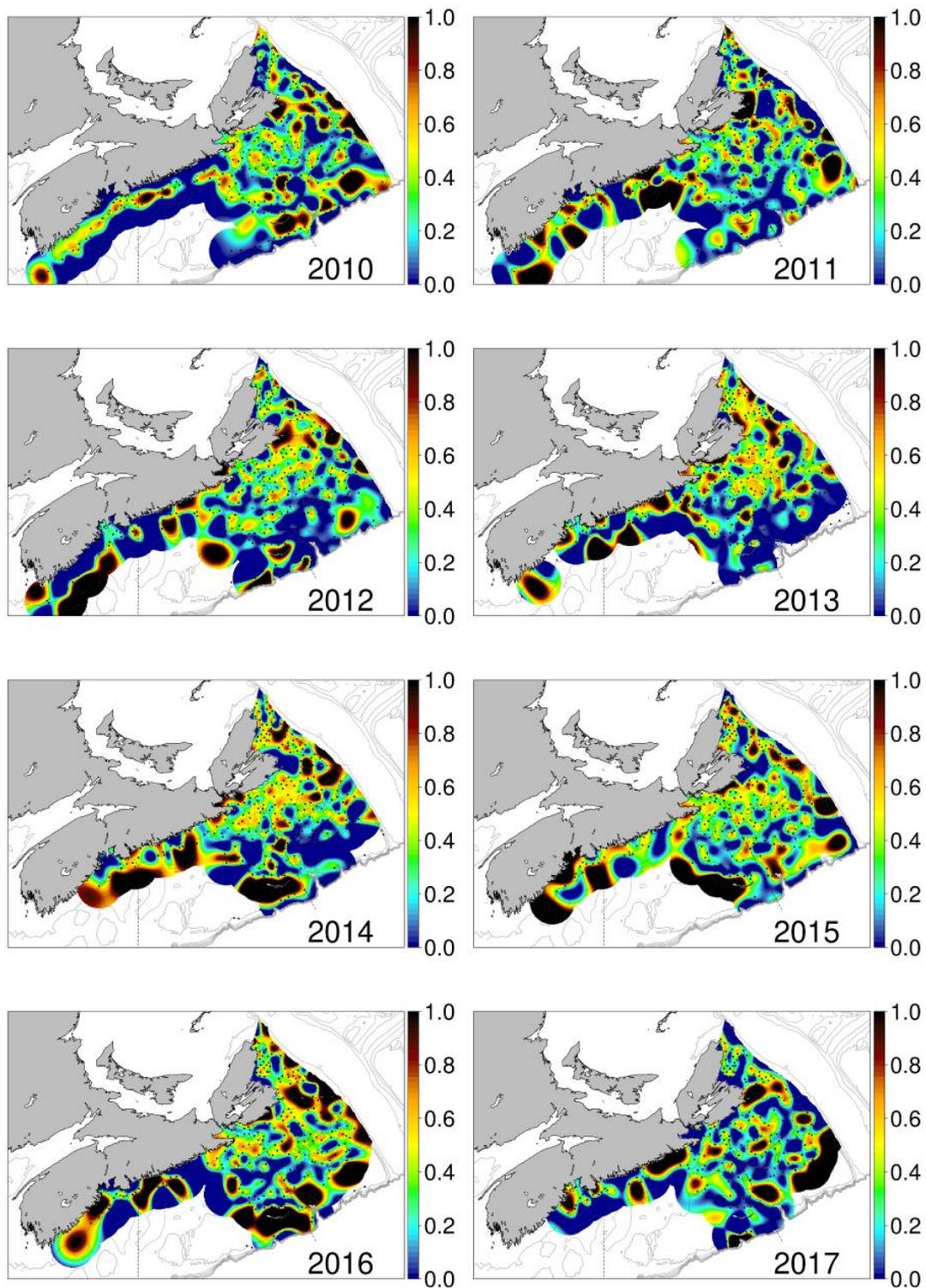


Figure 60. Sex-ratios d'individus morphométriques immatures (proportion de femelles dans la fraction mature des nombres totaux) des crabes des neiges du plateau néo-écossais avec des représentations spatiales générées à l'aide d'interpolations de données du relevé annuel du crabe des neiges par fonction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

Totno femelles Imm

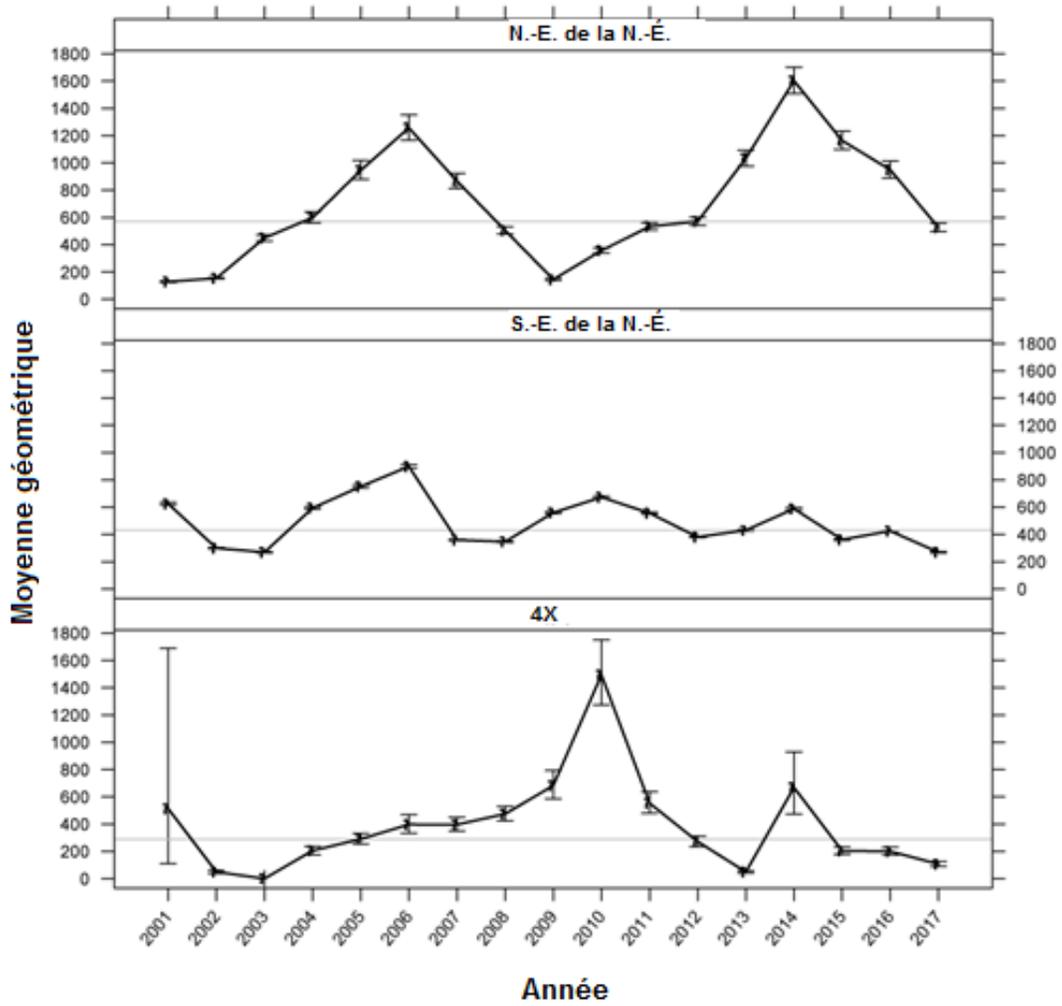


Figure 61. Densité numérique des femelles immatures dans l'est de la N.-É.

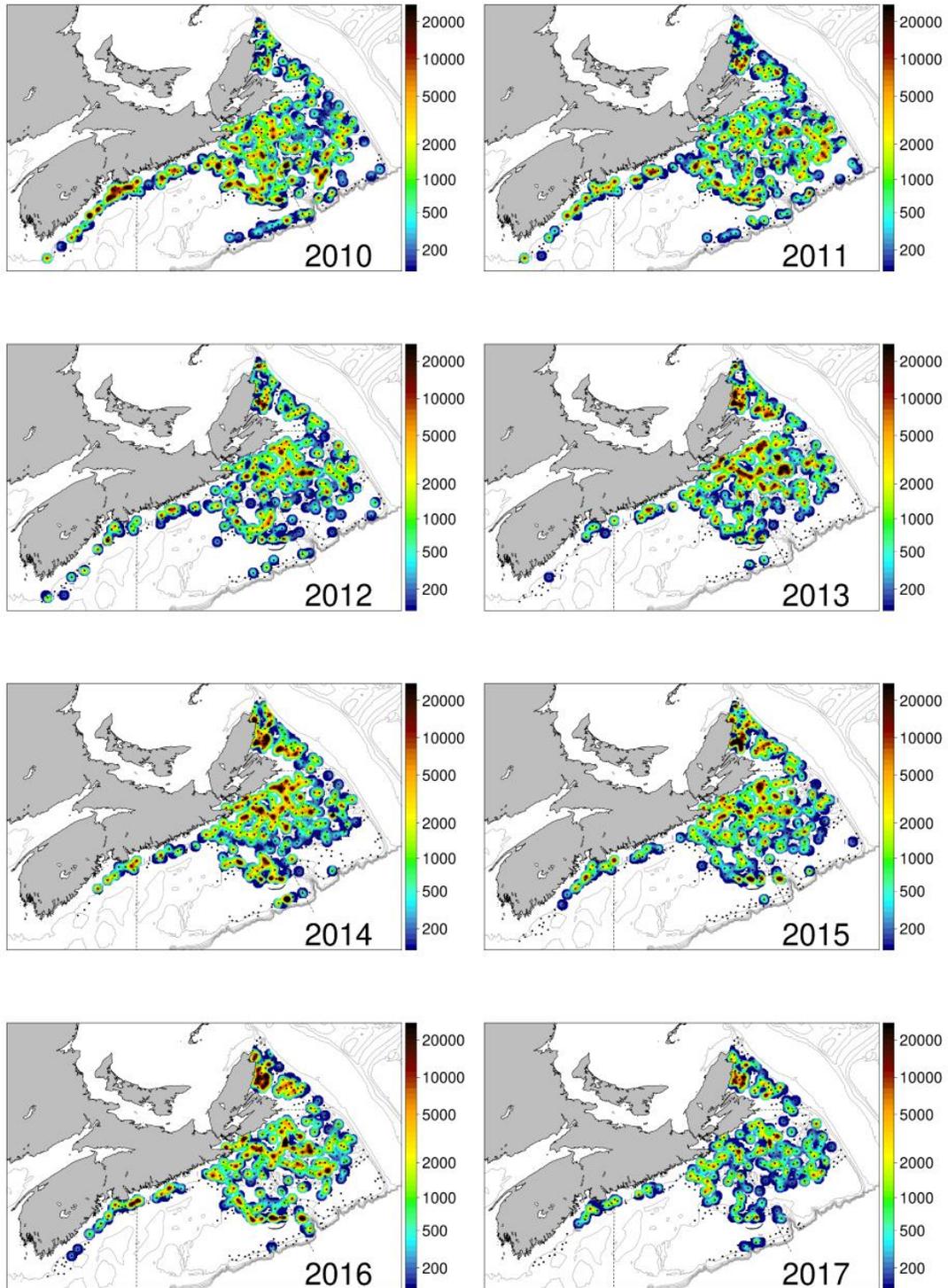


Figure 62. Densités numériques $\frac{\text{nombre}}{\text{km}^2}$ des crabes des neiges femelles immatures sur le plateau néo-écossais avec représentation spatiale générée à l'aide d'interpolations de données du relevé annuel du crabe des neiges par fonction spline des plans affinis.

Totno femelles mat

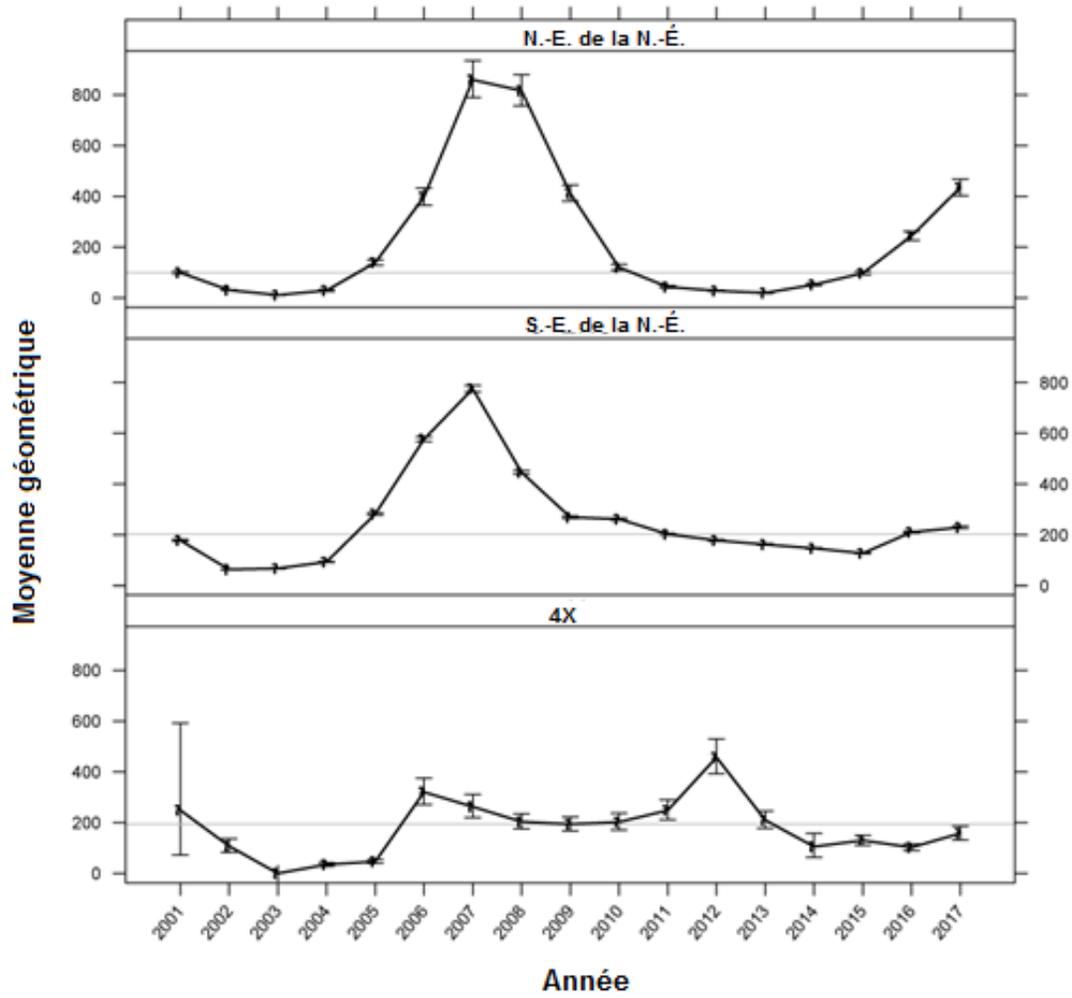


Figure 63. Densité numérique des femelles matures du relevé annuel du crabe des neiges.

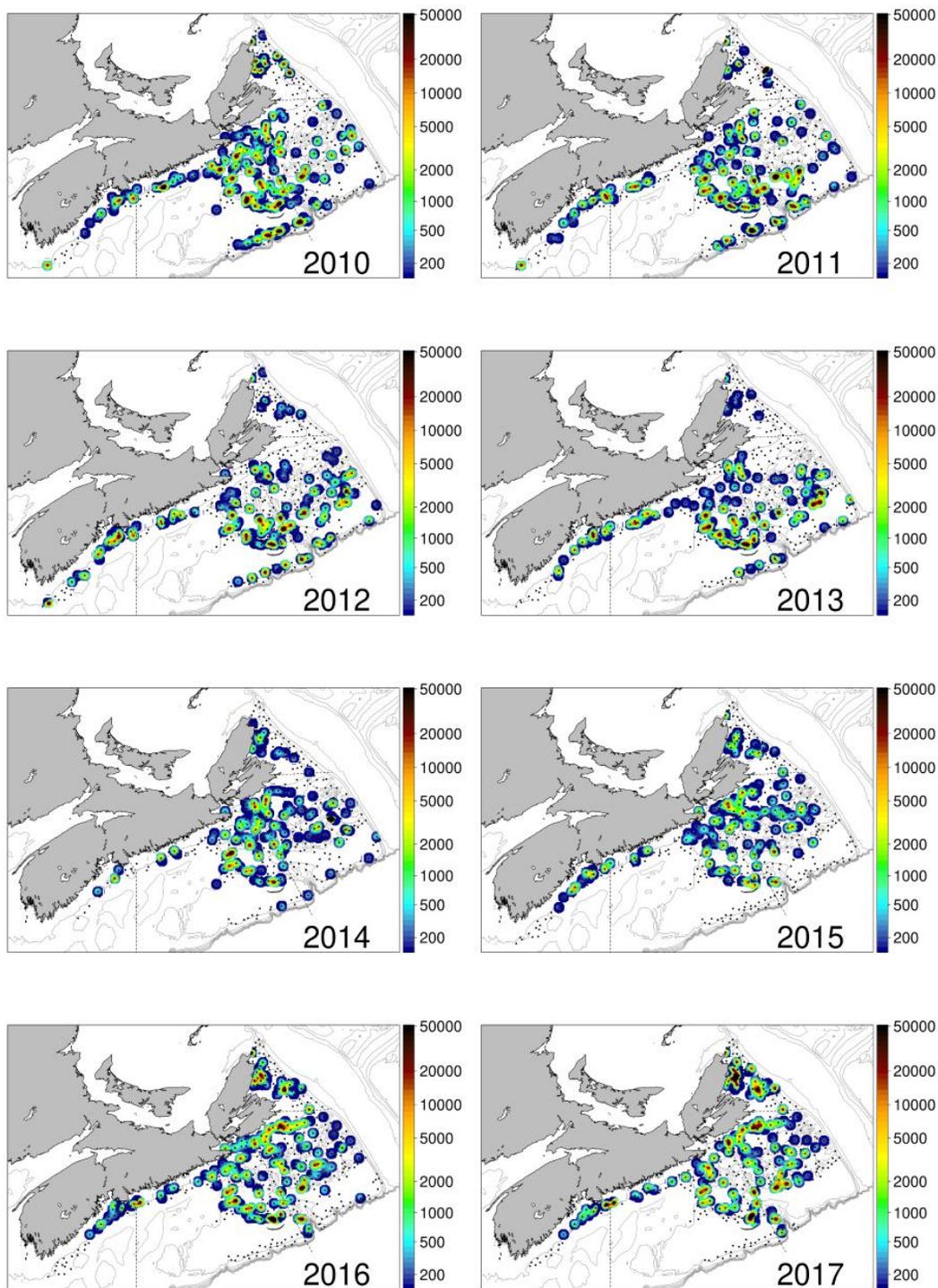


Figure 64. Densités numériques $\frac{\text{nombre}}{\text{km}^2}$ des crabes des neiges femelles matures sur le plateau néo-écossais avec représentation spatiale générée à l'aide d'interpolations de données du relevé annuel du crabe des neiges par fonction spline des plans affinis.

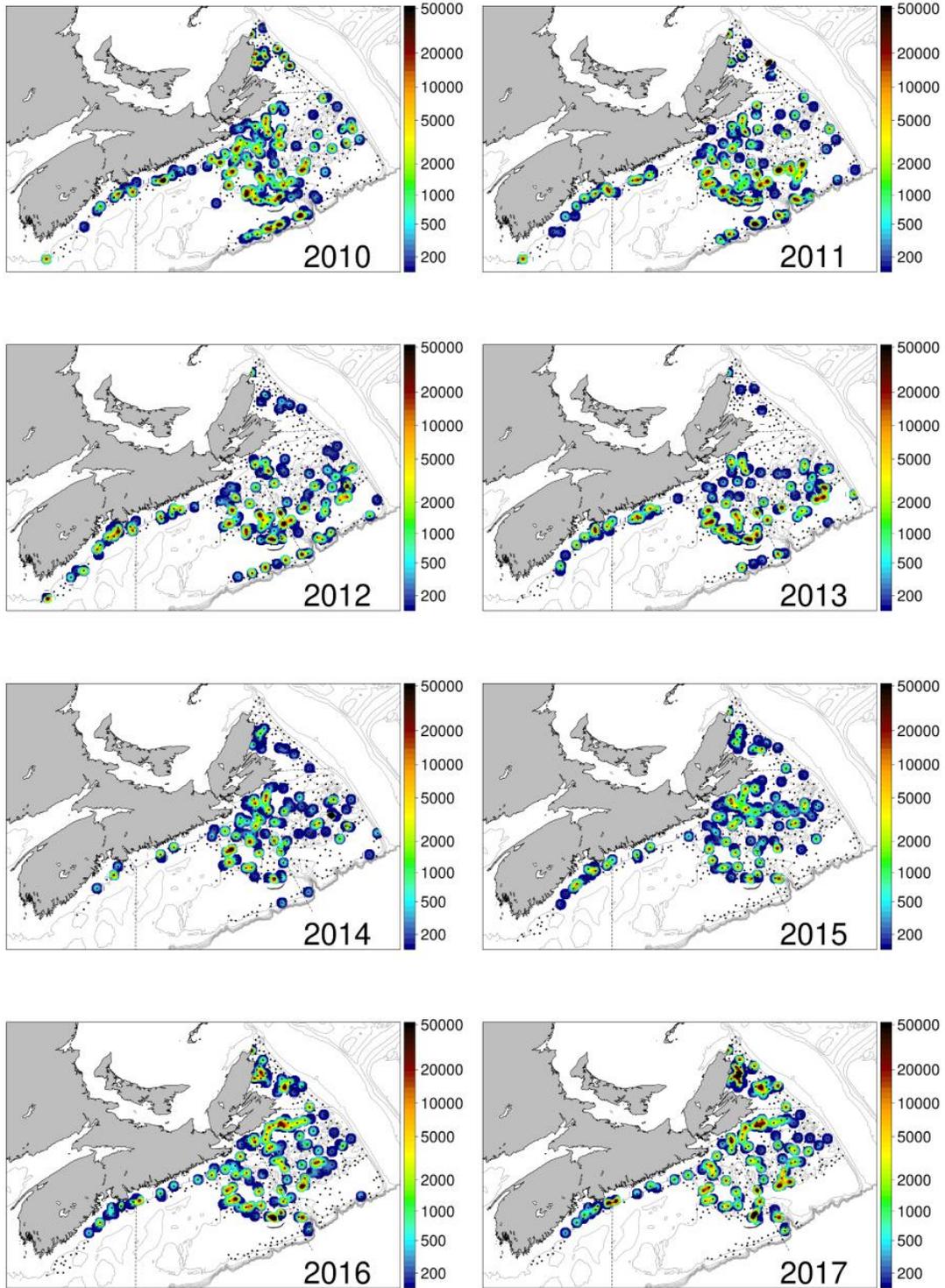


Figure 65. Densités numériques des crabes des neiges femelles œuvées matures sur le plateau néo-écossais avec représentation spatiale générée à l'aide d'interpolations de données du relevé annuel du crabe des neiges par fonction spline des plans affinis.

Fécondité

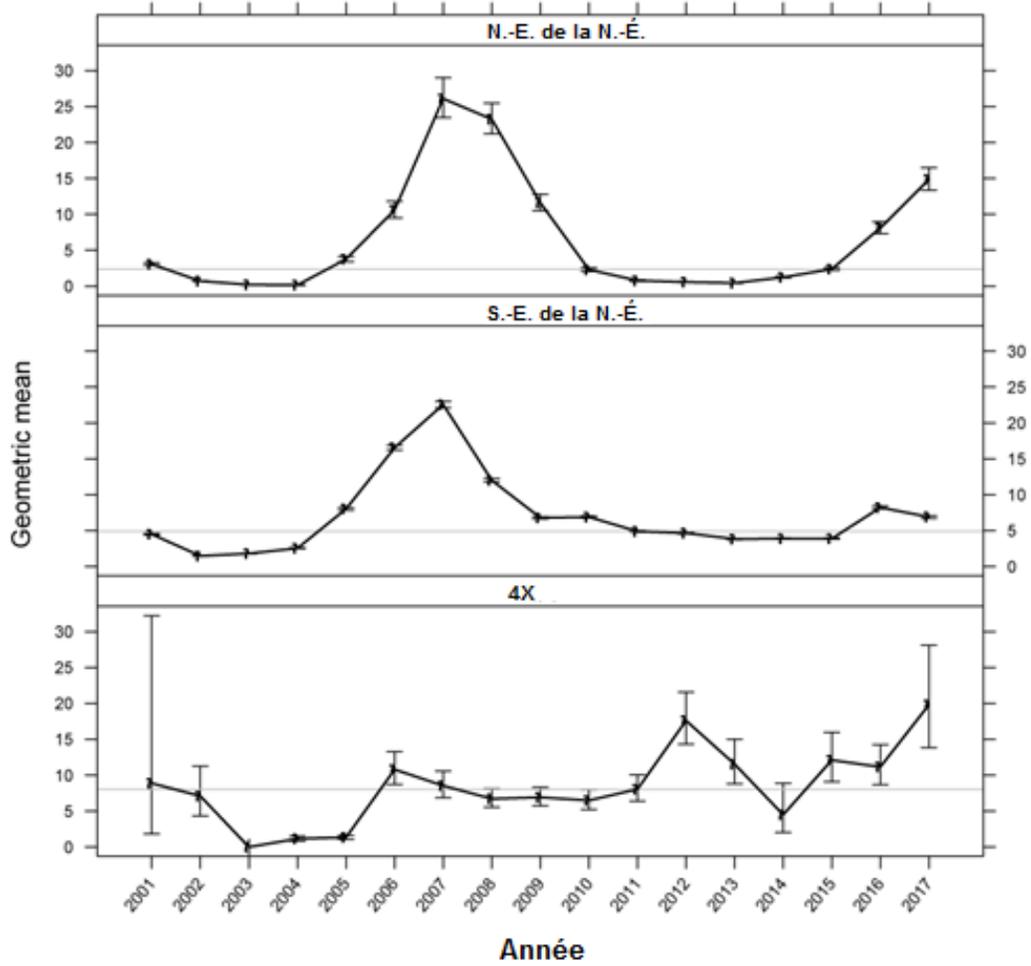


Figure 66. Indice de la production d'œufs sur la PNE, déterminé à partir du nombre de femelles œuvées et de la fécondité aux estimations de poids.

Masse R0

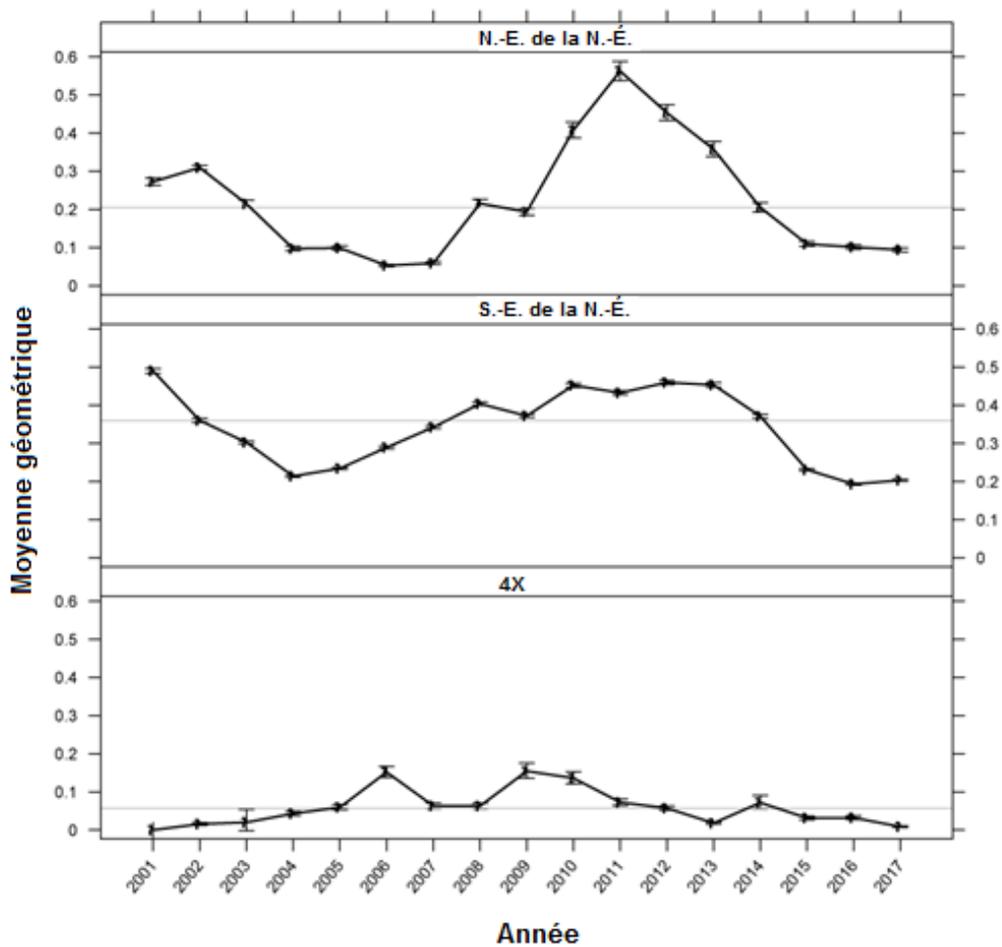


Figure 67. Tendances de la moyenne géométrique de la biomasse exploitable $\frac{t}{km^2}$, d'après le relevé annuel du crabe des neiges. Les barres d'erreur sont un IC à 95 % de la moyenne géométrique.

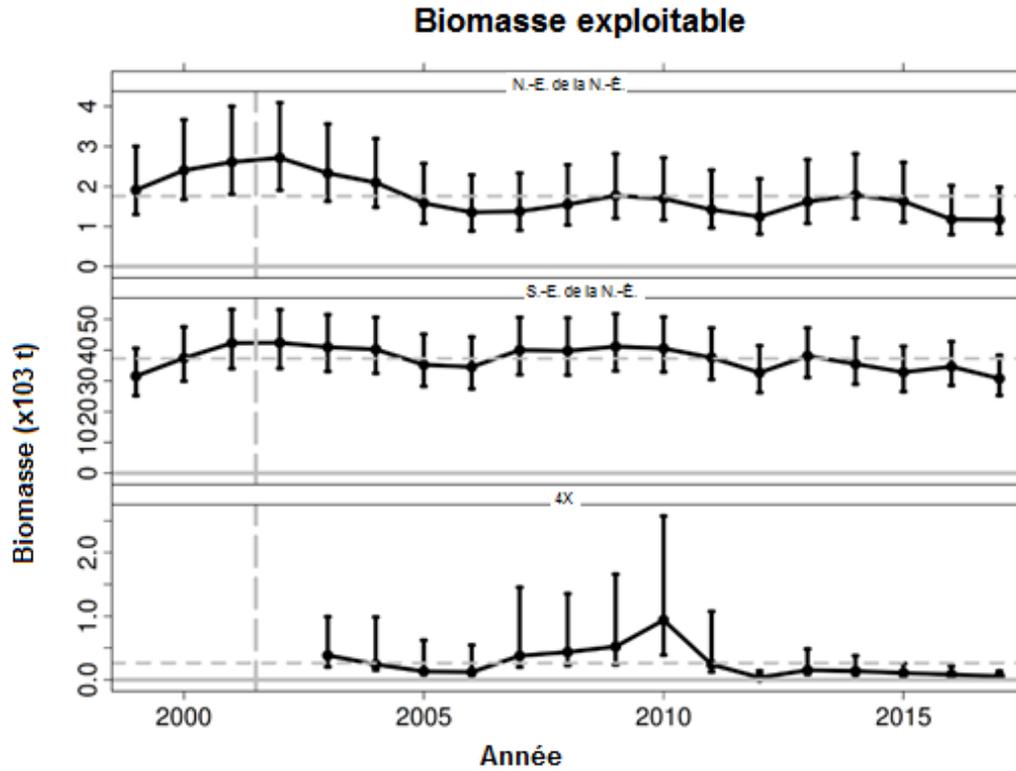


Figure 68. Les tendances dans la région ont permis d'accroître la biomasse géométrique moyenne exploitable obtenue dans le cadre du relevé annuel du crabe des neiges. Les barres d'erreur sont un IC à 95 % de la moyenne géométrique. Les estimations des zones sont obtenues à partir de **stmv**. La ligne pointillée verticale représente le passage d'un relevé printanier à un relevé d'automne. La ligne pointillée horizontale est moyenne.

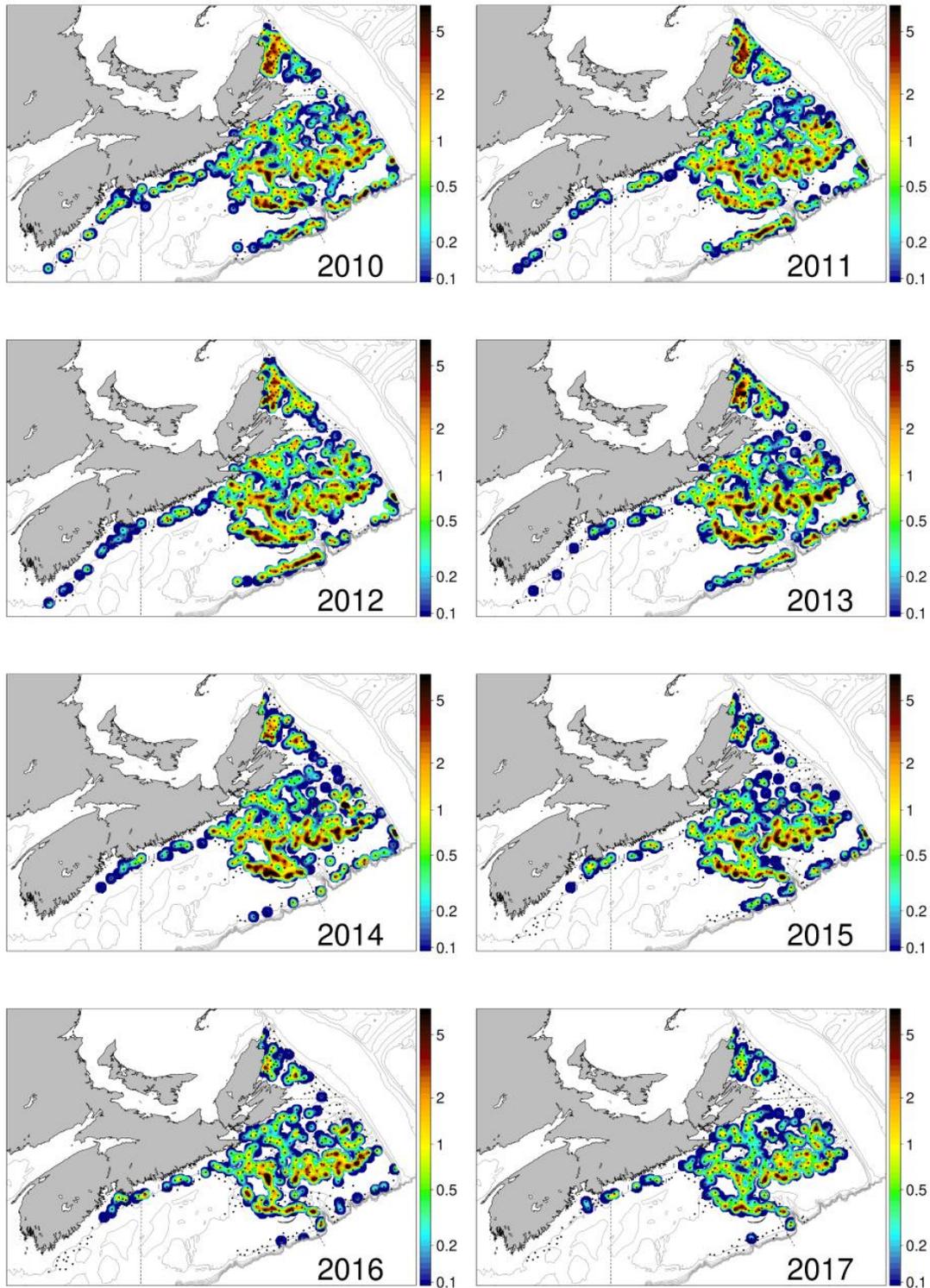


Figure 69. Densités de biomasse exploitable $\frac{t}{km^2}$ sur la PNE avec représentation spatiale générée à l'aide d'interpolations par fonction spline des plans affinis provenant du relevé annuel du crabe des neiges.

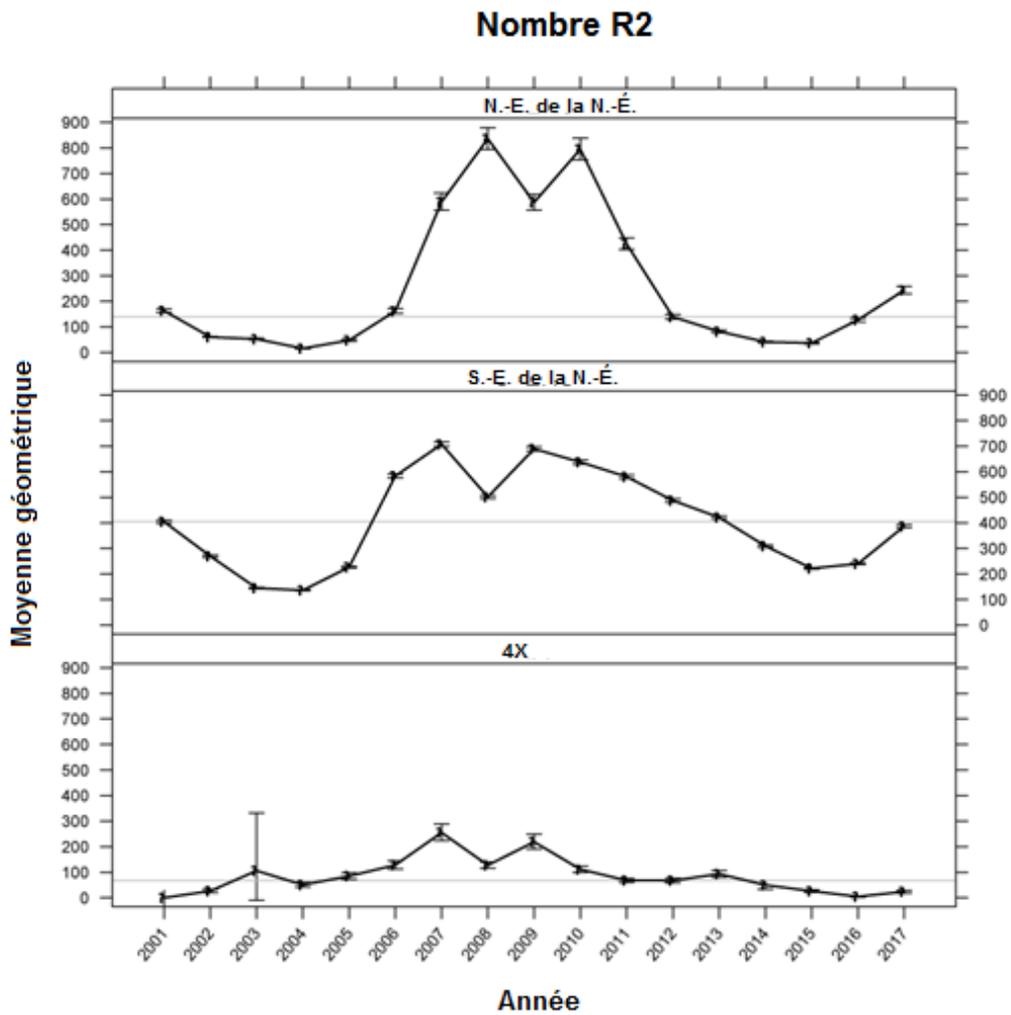


Figure 70. Tendances de l'abondance moyenne géométrique du crabe des neiges mâle (75 à 95 mm de LC), d'après le relevé annuel du crabe des neiges. Les barres d'erreur sont un IC à 95 % de la moyenne géométrique.

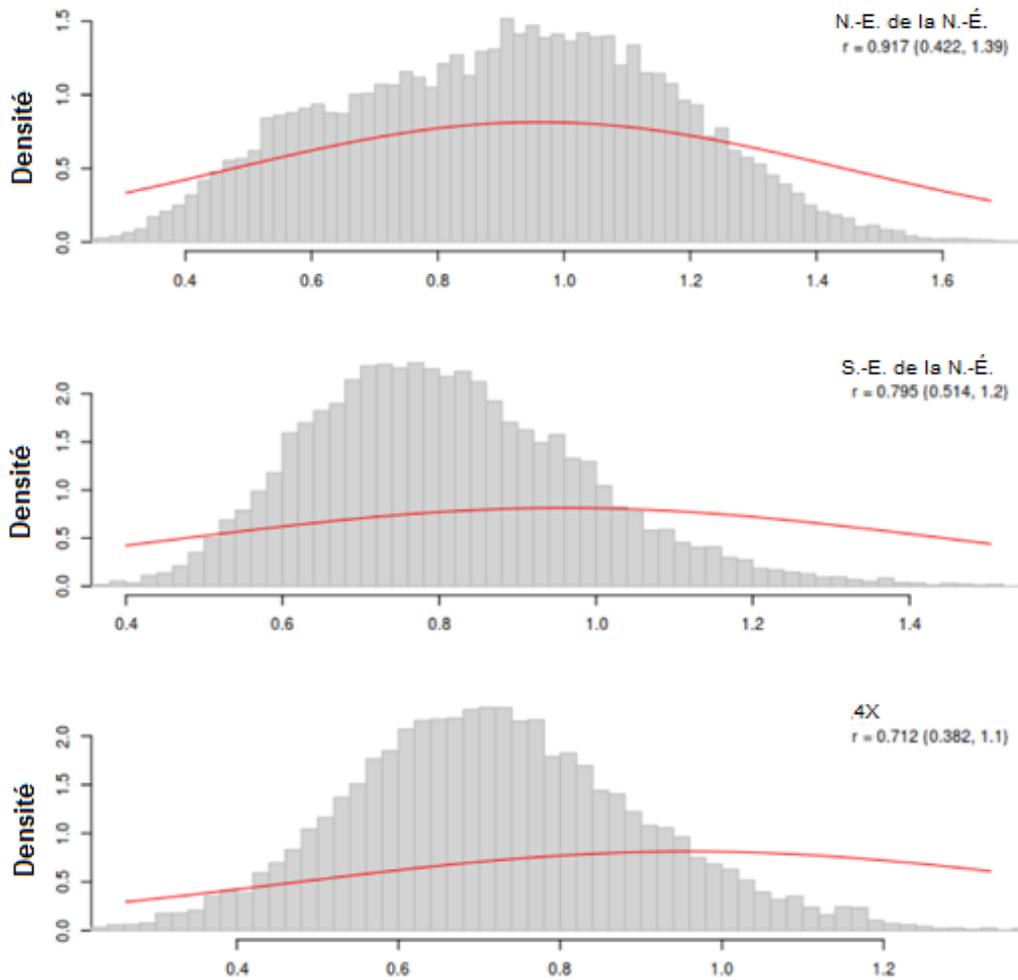


Figure 71. Distribution antérieure (rouge) et postérieure (barres) pour le paramètre de croissance de la population, r , d'après le modèle dynamique de la biomasse de la production de crabe des neiges dans les zones de pêche du crabe sur le plateau néo-écossais. À l'intérieur de chaque panneau, des estimations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

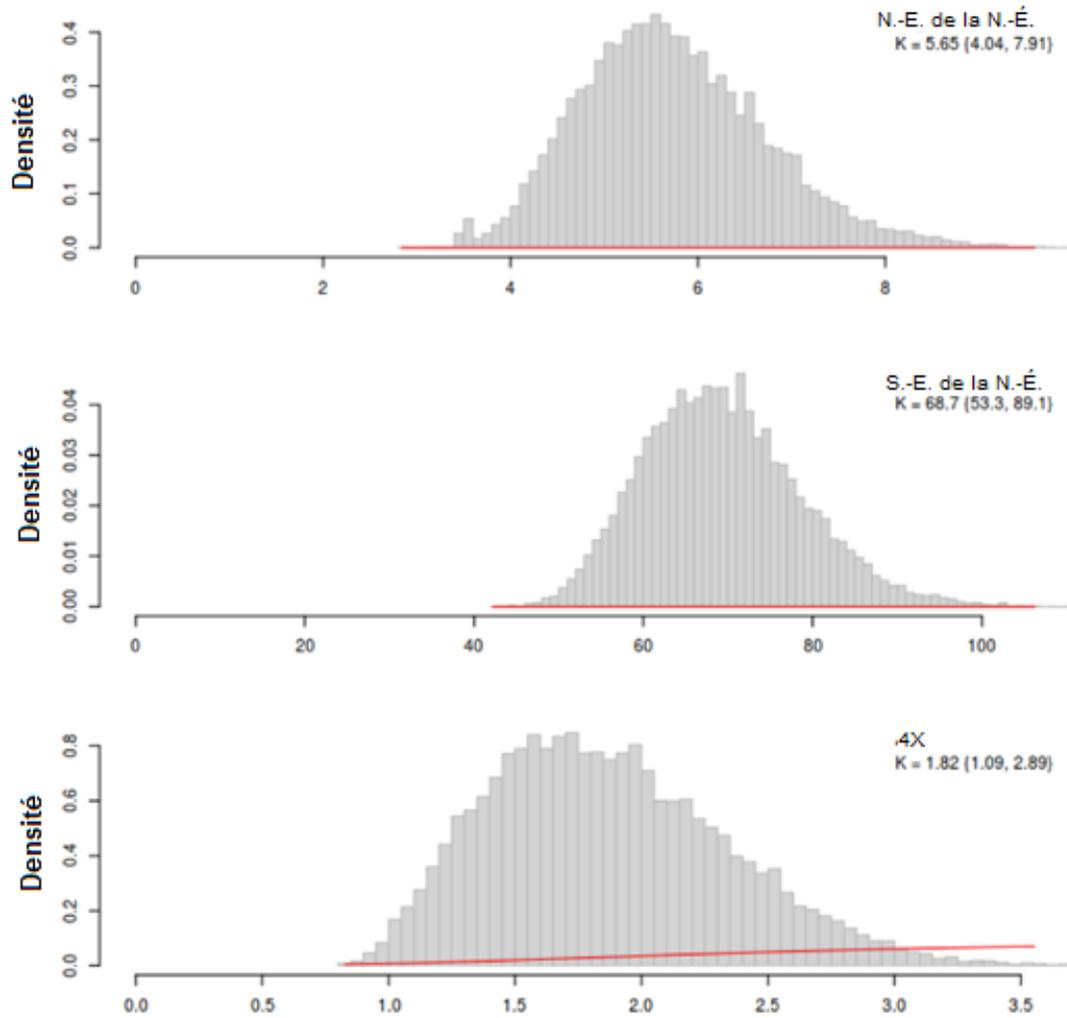


Figure 72. Distribution antérieure (rouge) et postérieure (barres) pour le paramètre de la capacité de charge, K , d'après le modèle dynamique de la biomasse de la production de crabe des neiges dans les zones de pêche du crabe sur le plateau néo-écossais. À l'intérieur de chaque panneau, des estimations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

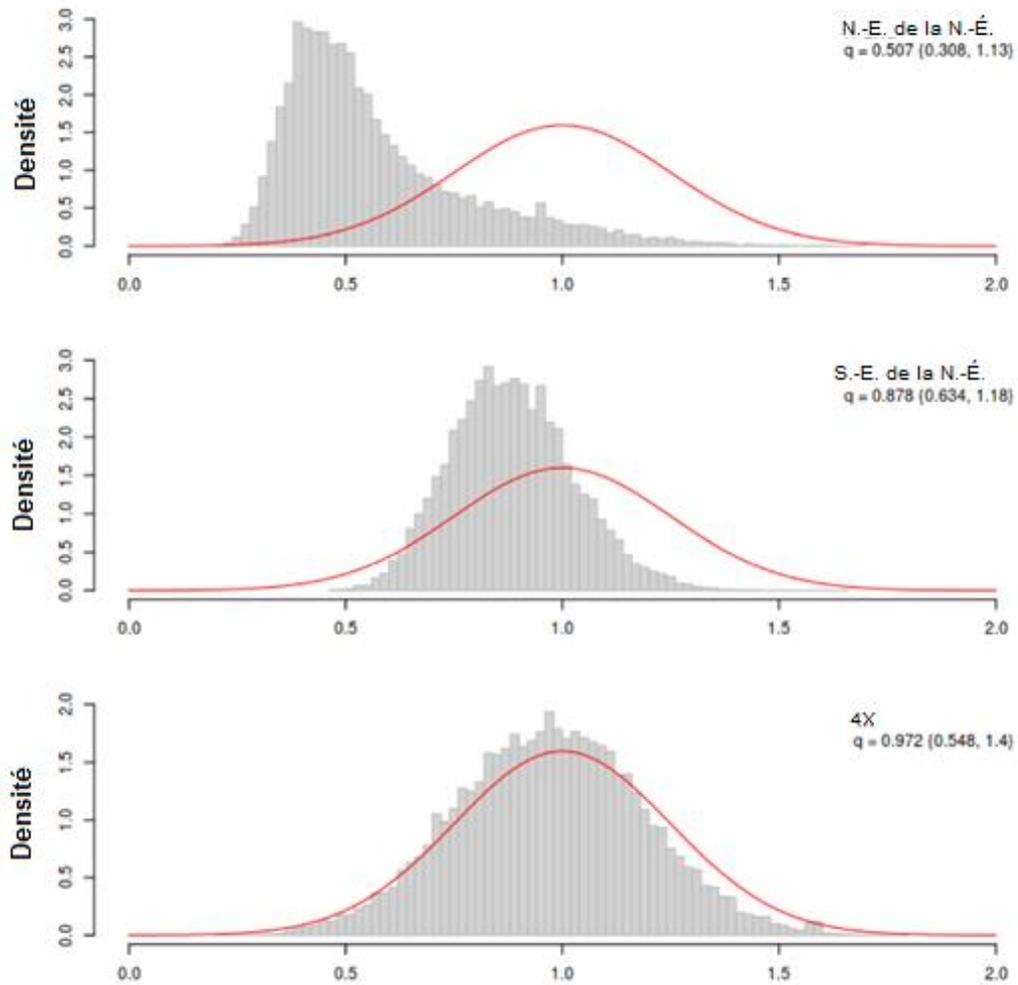


Figure 73. Distribution antérieure (rouge) et postérieure (barres) pour le paramètre de capturabilité, q , d'après le modèle dynamique de la biomasse de la production de crabe des neiges dans les zones de pêche du crabe sur le plateau néo-écossais. À l'intérieur de chaque panneau, des estimations de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

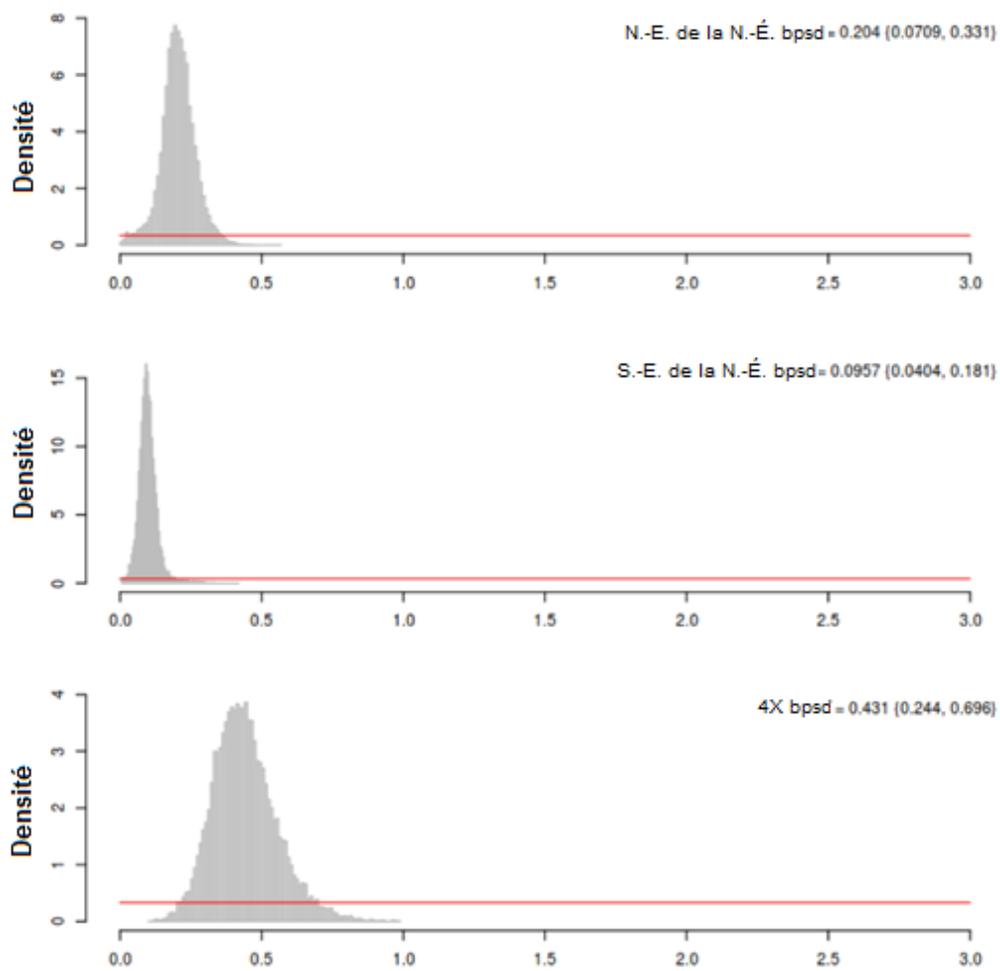


Figure 74. Distribution antérieure (rouge) et postérieure (barres) pour l'erreur de processus, d'après le modèle dynamique de la biomasse de la production de crabe des neiges dans les zones de pêche du crabe sur le plateau néo-écossais. À l'intérieur de chaque panneau, des estimations de la médiane postérieure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

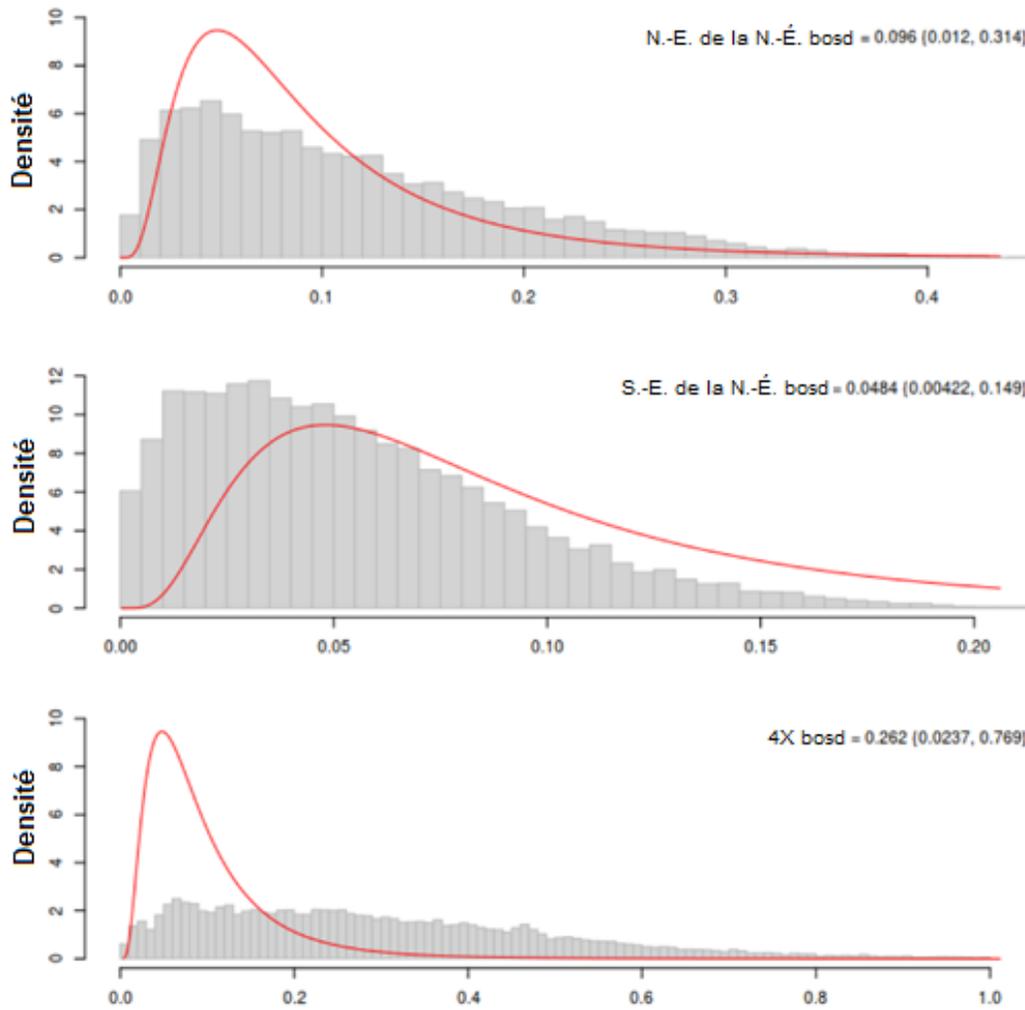


Figure 75. Distribution antérieure (rouge) et postérieure (barres) pour l'erreur d'observation, d'après le modèle dynamique de la biomasse de la production de crabe des neiges dans les zones de pêche du crabe sur le plateau néo-écossais. À l'intérieur de chaque panneau, des estimations de la médiane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

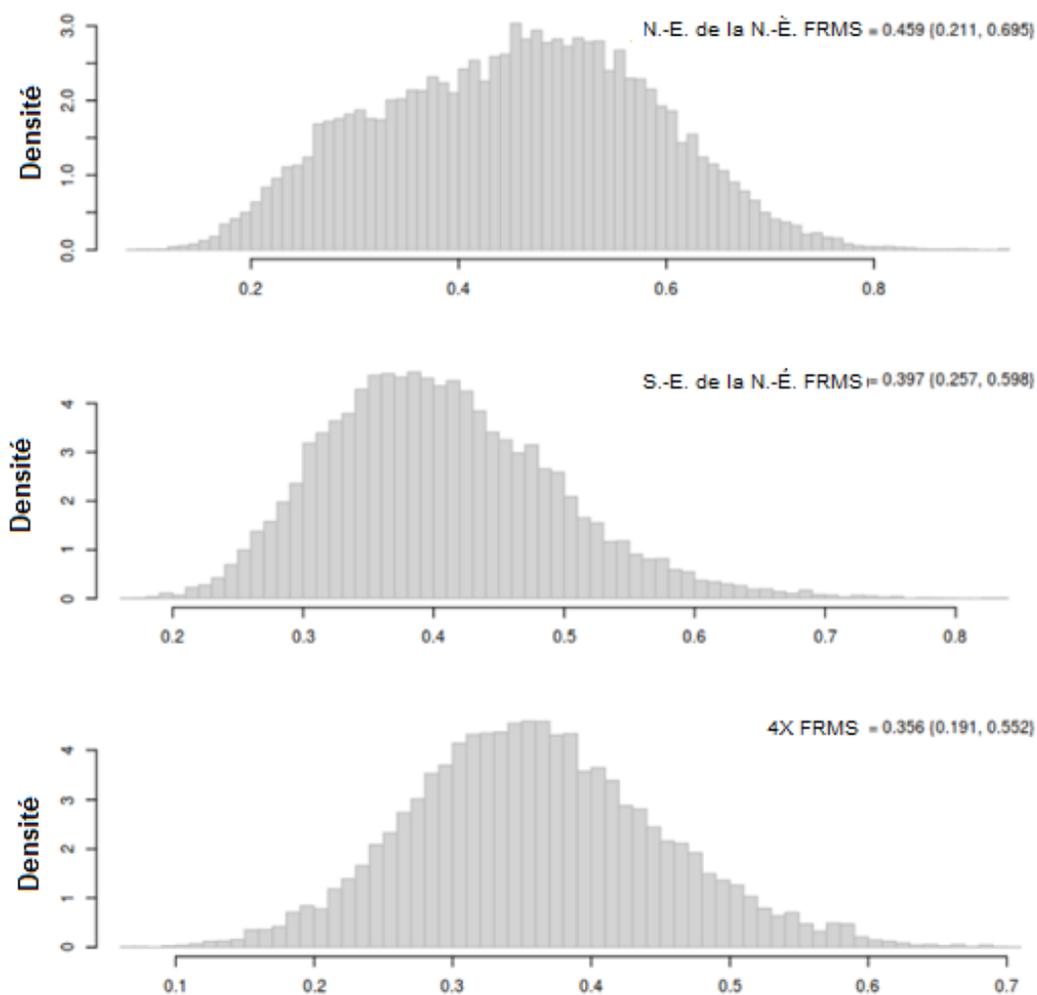


Figure 76. Distribution postérieure pour la mortalité par pêche au rendement maximal soutenu, d'après le modèle dynamique de la biomasse de la production de crabe des neiges dans les zones de pêche du crabe sur le plateau néo-écossais. À l'intérieur de chaque panneau, des estimations de la médiane postérieure et des intervalles de crédibilité à 95 % sont données dans la légende.

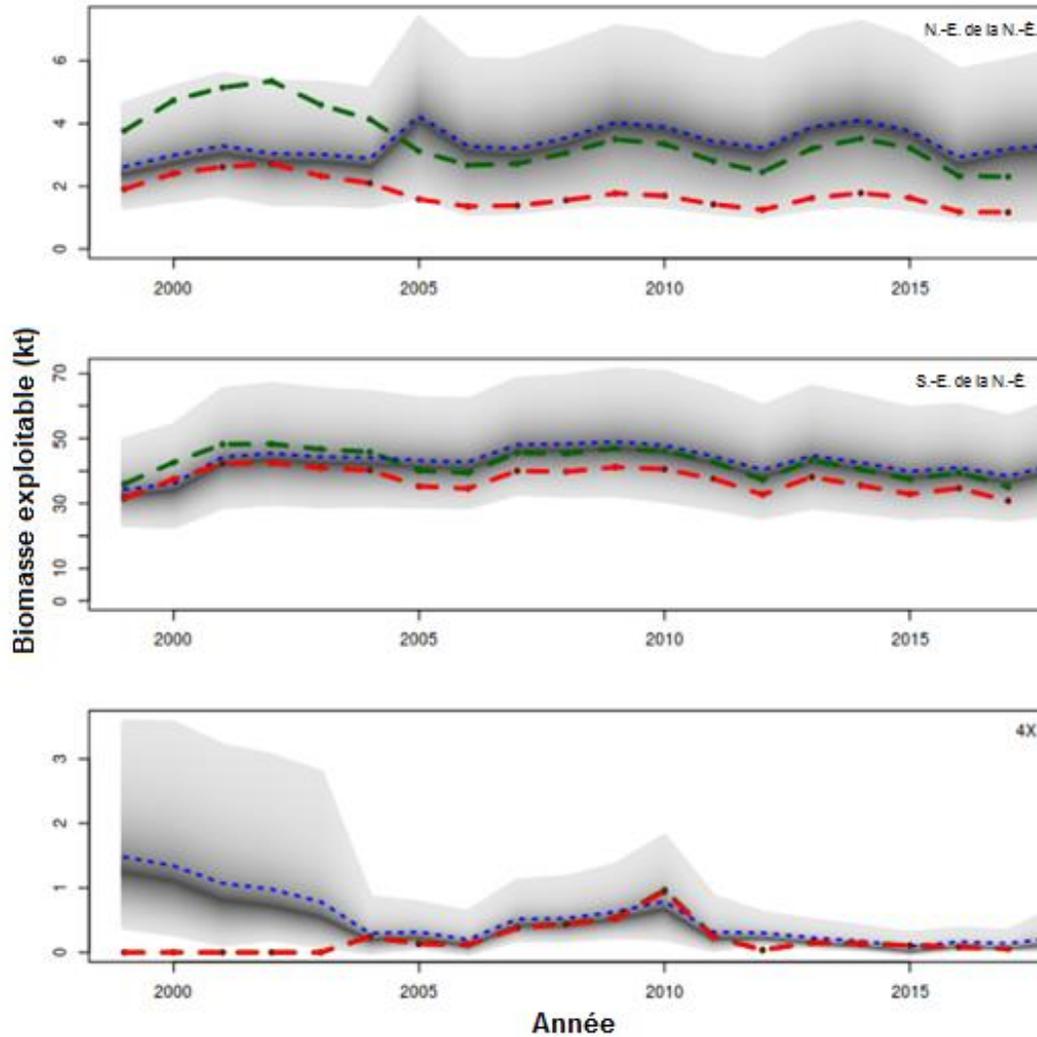


Figure 77. Série chronologique de la biomasse exploitable des modèles de population logistiques. L'indice de la biomasse exploitable est représenté par une courbe pointillée rouge. L'indice de la biomasse exploitable corrigé en fonction du Q est indiqué par des lignes pointillées vertes. La biomasse 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 intervalle de confiance (IC) à 95 %, et la zone la plus foncée représente les médianes.

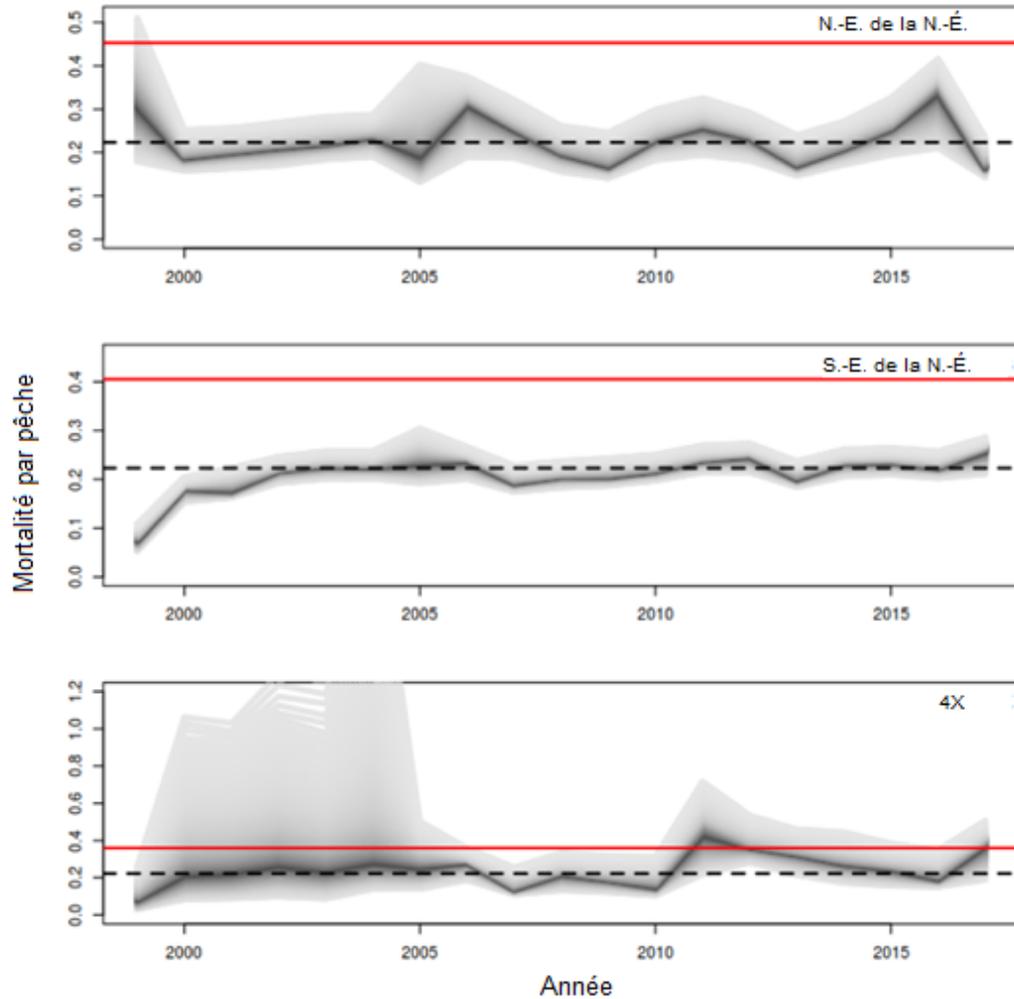


Figure 78. Série chronologique de la mortalité par pêche des modèles de population logistiques respectivement pour le N.-E. et le S.-E. de la N.-É. et la ZPC 4X. La distribution de la densité postérieure est présentée en gris, et la ligne la plus foncée représente la médiane (IC de 95 %). La ligne rouge correspond au FRMS estimé et la ligne pointillée foncée correspond au taux de prise de 20 %.

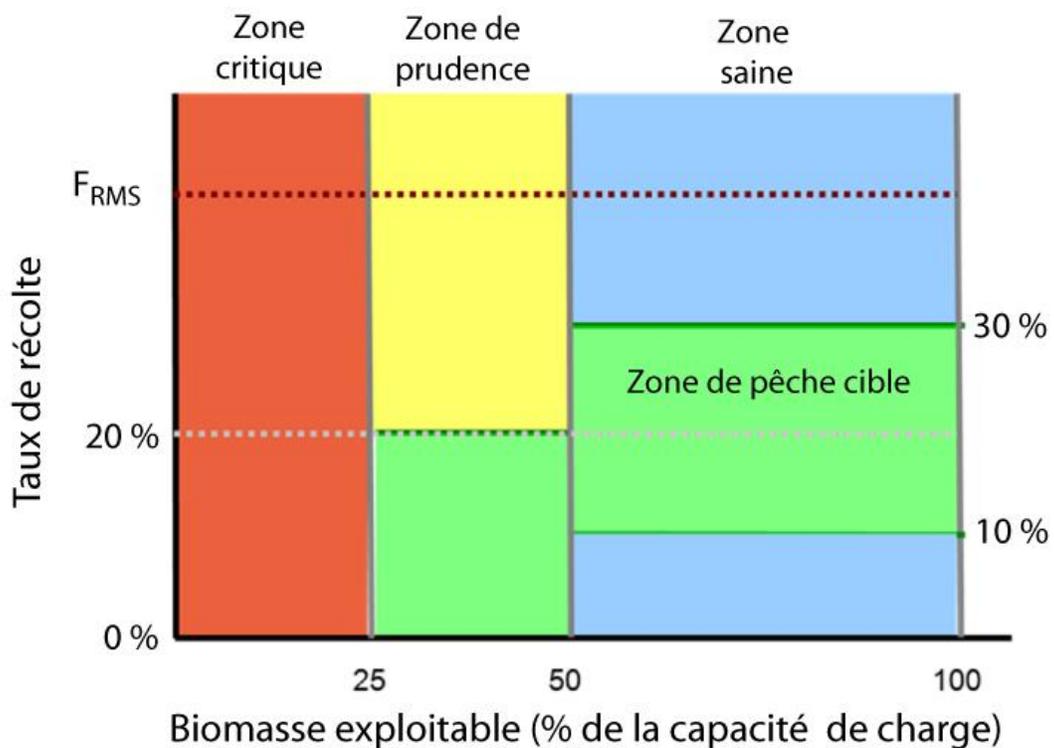


Figure 79. Règles de contrôle des prises pour la pêche du crabe des neiges dans l'écosystème du plateau néo-écossais.

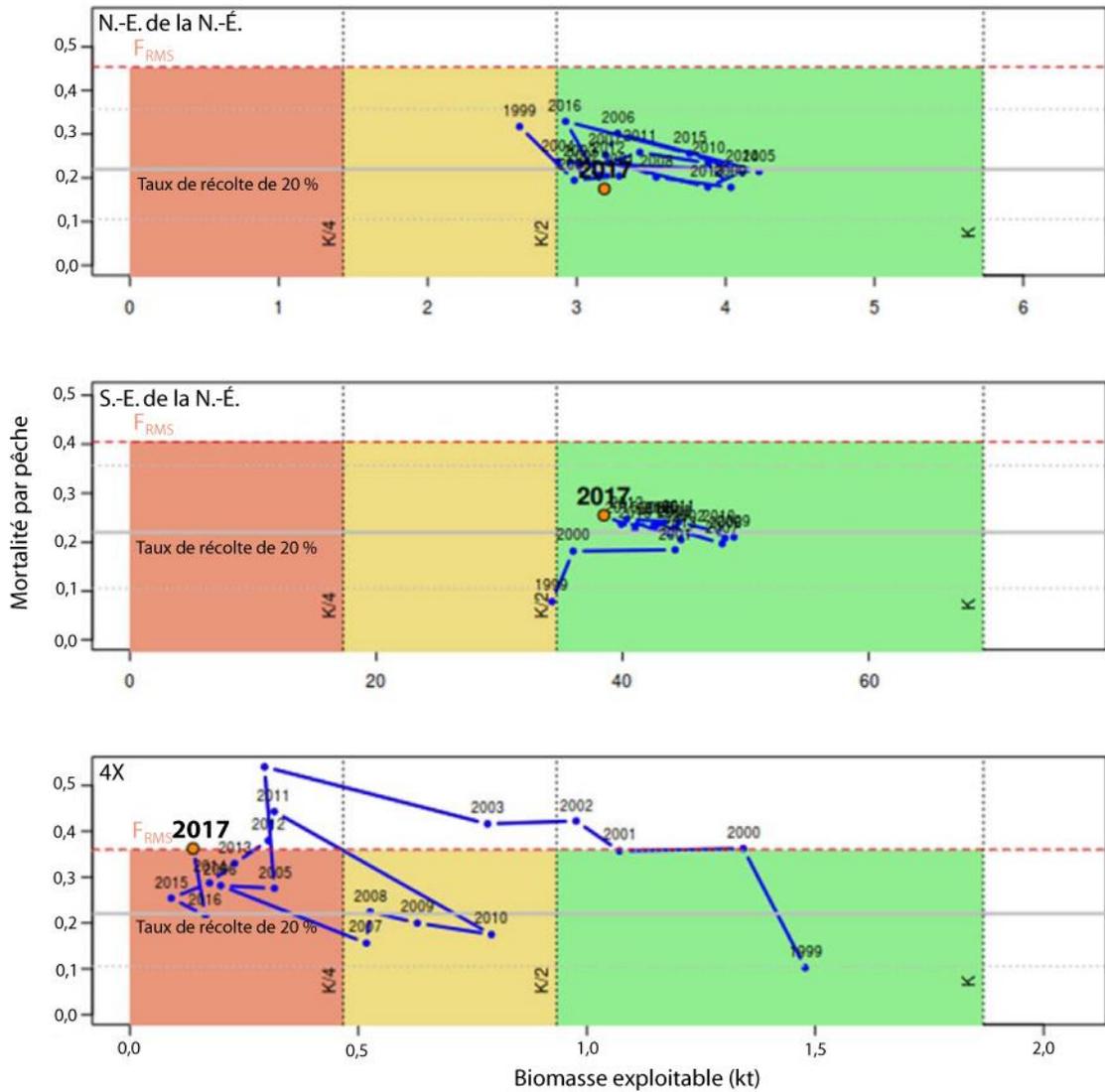


Figure 80. Série chronologique de la mortalité par pêche et de la biomasse avant la pêche du N.-E. de la N.-É. (graphique du haut), du S.-E. de la N.-É. (graphique du milieu) et de la ZPC 4X (graphique du bas), d'après les modèles de population logistiques.

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 de cette variabilité et leur compréhension sont pertinentes pour la compréhension des processus et leur caractérisation/prévision. Le plan d'échantillonnage tente d'aborder ces questions 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 aréolaire 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 se réduire 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 « ajuste » 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 le(s) processus d'intérêt principal(s), 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** » (<https://github.com/jae0/stmv>). Ce document 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. Ils $\|\cdot\|$ indiquent une norme qui dans les dimensions $d = 2$ est la distance euclidienne, $h = (\Delta\text{northing}^2 + \Delta\text{eastng}^2)^{1/2}$.

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 par la fonction de liaison $g(\cdot)$. Les x_s sont des prédicteurs spatialement référencés avec les paramètres associés β . Le processus d'erreur résiduelle est décomposé en composantes spatialement structurées ω_s et spatialement non structurées ε_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 micro-échelle; généralement, on suppose qu'elle a une distribution normale et un écart-type σ_ε . 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 θ et l'écart-type spatialement structuré σ_ω (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 σ_ε est l'erreur non spatiale, σ_s est l'erreur spatialement structurée, et $\theta = \{\phi, \nu, p, \dots\}$ sont les paramètres propres à la fonction, y compris ϕ 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 ν . 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).

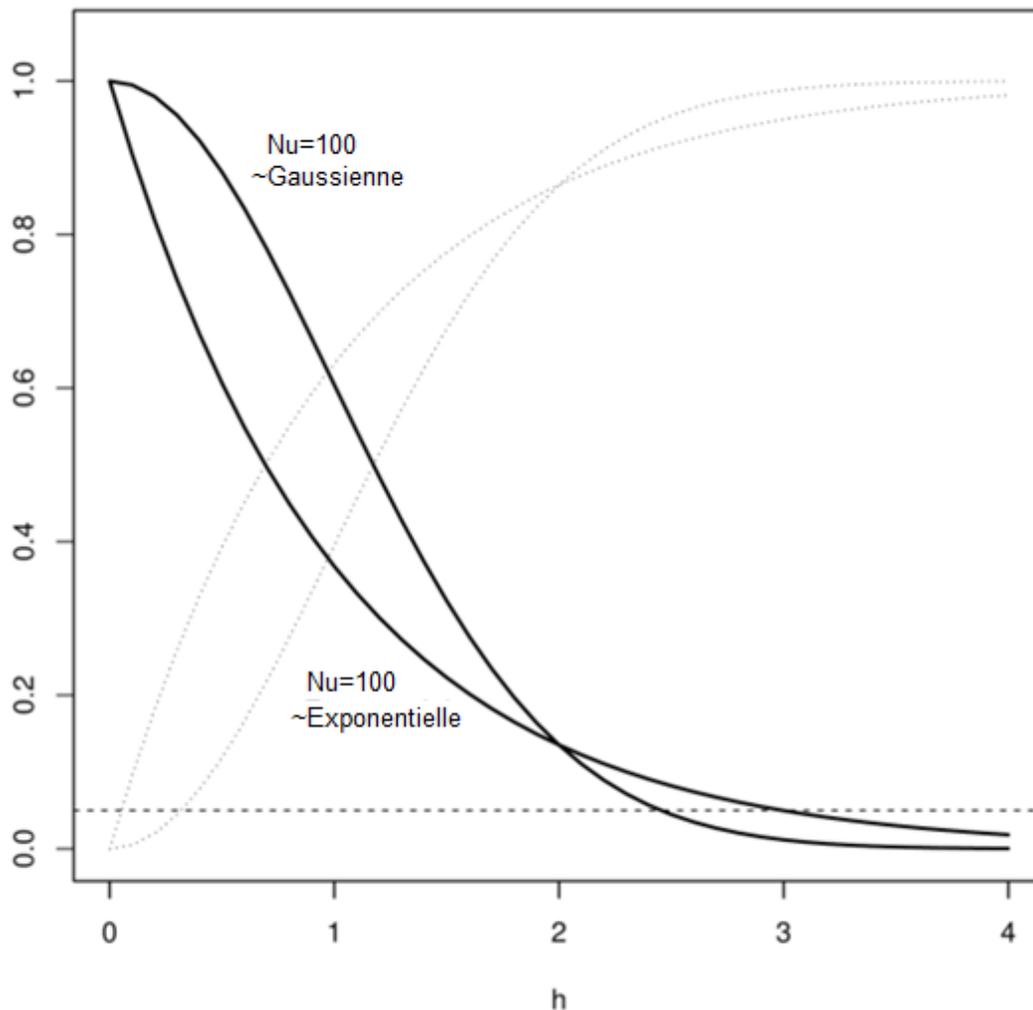


Figure A1.1. Fonction d'autocorrélation de Matérn, $\rho(h) = C(h)/C(0)$, la fonction de covariance $C(h)$ mise à l'échelle par la variance totale $C(0)$, pour deux valeurs de ν (courbes foncées). Comme ν augmente ($\nu = 100$), elle se rapproche de la courbe de Gauss (courbe foncée supérieure sur le 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 ν . 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 significative 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 spécifiques. 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. Au cours de cette période, les besoins en matière d'effort et de 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) ρ . 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 ω) 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 ϕ_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 être 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

En réalité, des profils spatio-temporels coexistent et évoluent conjointement. Il s'agit de processus corrélés et, à ce titre, il est difficile de les modéliser correctement. 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 $\{(s, t) \in D \in \mathfrak{R}^d \times \mathfrak{R}\}$ dans le domaine D de la dimensionnalité $d + 1$ avec des positions spatiales $\{k =$

1, ..., K} et temporelles {l = 1, ..., L}. 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 ω et une composante non structurée ε , 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 :

- β – 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 : $C(\Delta s)_{\text{Matérn}} = \sigma_s^2 \frac{1}{2^{2\nu-1}\Gamma(\nu)} (\sqrt{2\nu}|\Delta s|/\phi)^\nu K_\nu(\sqrt{2\nu}|\Delta s|/\phi)$. 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 ω 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 des opérations $\mathcal{O}((KL)^3)$ à $\mathcal{O}(K^3) + \mathcal{O}(L^3)$; 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 notoirement 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 (CPU de 5 GHz, 64 Go de RAM), 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 $F(\cdot) \equiv x_{s,t}^T \beta_{s,t}$ 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 σ_φ , 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 d'enquête, 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 $f_m(\cdot) \equiv \varphi_{s,t|m}^T \beta_{s,t|m}$ avec deux harmoniques, une interannuelle et une subannuelle (saisonnière) : $f_m(\text{interannual, seasonal})$. 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 $\sigma_{s,t|m}^2 \frac{1}{2^{\nu_{t|m}-1} \Gamma(\nu_{t|m})} (\sqrt{2\nu_{t|m}h}/\phi_{t|m})^{\nu_{t|m}} K_{\nu_{t|m}}(\sqrt{2\nu_{t|m}h}/\phi_{t|m})$ 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 et 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** (<http://github.com/jae0/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, il est modélisé 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.); elle fournit donc des renseignements utiles sur les habitats benthiques, démersaux et endofauniques. Elle est également modélisée comme un processus log-normal :

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

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 de 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/saisonnaire). 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 (TFR) est utilisée pour approximer le processus spatial gaussien. La spécification du modèle est donc :

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

D'autres 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 des espèces 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. et 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. et Charlton, M.E. 2002. Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships. Wiley, Chichester.
- Hengl, T., Heuvelink, G.B.M., et Stein, A. 2004. A Generic Framework for Spatial Prediction of Soil Variables Based on Regression-kriging. Geoderma 120: 75-93.

-
- Huang, H.-C., et 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., et 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., et Stahel, W.A. 2012. A Dynamic Nonstationary Spatio-temporal Model for Short Term Prediction of Precipitation. *Ann. Appl. Statist.* 6: 1452–1477.
- Sølna, K., et Switzer, P. 1996. Time Trend Estimation for a Geographic Region. *J. Am. Stat. Assoc.* 91: 577–589.
- Wikle, C.K., et Cressie, N. 1999. A Dimension-reduced Approach to Space-time Kalman Filtering. *Biometrika* 86: 815–829.
- Xu, K., Wikle, C.K., et 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 (AP) désigne l'importance accordée à la prise de décisions éclairée en tenant compte des incertitudes et en évitant les décisions risquées. Cela s'explique par le fait que les écosystèmes naturels sont intrinsèquement complexes et que ce genre de choses peut se produire et se produit réellement (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 causé des préoccupations au sujet de l'utilisation généralisée des pesticides synthétiques, ce qui s'est soldé par l'abolition du dichlorodiphényltrichloroéthane (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. Elle a été élevée un cran plus haut par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (CMED, 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 entrepris 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 (ZEE); le Code de conduite pour une pêche responsable de la FAO (1995) qui met l'accent sur la conservation et l'approche de précaution (AP) en favorisant des engins de pêche sélective et des méthodes de pêche responsable; l'Accord des Nations Unies sur la pêche (ANUP, 2001) portant 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 (SMDD, 2002) à Johannesburg 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 (AP) (Shelton et Sinclair, 2008). 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 socio-économiques connexes d'une pêche efficace et vigoureuse. Favoriser la durabilité biologique et écologique à long terme peut, par conséquent, favoriser la durabilité socio-économique 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 MPO (2006) a proposé l'utilisation de la biomasse du stock reproducteur (BSR) comme mesure de la « durabilité ». Des niveaux élevés de biomasse du stock reproducteur étaient considérés comme « sains » et de faibles niveaux « 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 la déstabilisation et l'effondrement d'une population par le surpeuplement, la dégradation de l'habitat, des maladies et d'autres mécanismes dépendants de la densité. Voici quelques exemples bien connus : des populations de chevreuils, sur des îles devenues surpeuplées, qui se sont éteintes après avoir consommé toute la nourriture disponible; les hommes sur l'île de Pâques qui ont coupé trop d'arbres, ce qui a entraîné des effondrements démographiques, sociétaux et écologiques; et la surdominance d'une espèce (monocultures dans les exploitations et les forêts) entraînant des épidémies de maladies ou d'incendies qui provoquent un 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 du fait de mettre l'accent sur un seul indicateur. La durabilité est un concept multidimensionnel qui nécessite de recourir à un ensemble plus large de critères pour décrire 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 requiert *au moins* les éléments suivants : des taux de production d'œufs stables et positifs, un recrutement, et des niveaux comparables et stables de mortalité naturelle, et de structure et fonction de l'écosystème. La « mortalité naturelle » et son opposé, le « recrutement », sont des termes généraux 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 des 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, l'évaluation du stock de crabe des neiges sur la PNE tient dûment compte de ces déterminants potentiels de la durabilité de la population et de l'écosystème.

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, l'état des stocks et/ou le contexte écosystémique devraient s'améliorer. 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 présomption « universelle » en matière de contrôle des pêches est davantage une croyance qu'une réalité. Il semble donc plus prudent d'adopter une approche de gestion fondée sur l'aversion au risque. Pour la pêche du crabe des neiges, la nécessité d'une précaution supplémentaire est d'autant plus importante que 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, c'est cette zone qui risque d'être la plus touchée par ces 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 imposées 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 accroître les chances que les pratiques de pêche et les mesures de gestion permettent une exploitation durable des ressources, l'influence des pêches doit simplement être suffisamment faible pour que la capacité de la population à maintenir cet équilibre (faculté d'adaptation et résilience) ne soit pas visiblement perturbée 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, du recrutement, de 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'écosystème de la PNE, ainsi que de la longévité du crabe des neiges. Cependant, des indicateurs pertinents sont évalués 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 (CNUED, 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 N.-É. 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. Les femelles ne sont pas pêchées.
- 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 de tailles précoces (c.-à-d. plus petites) à maturité.
- 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 poisson 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 (< 95 mm de LC) 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 exploités.
 - On ne pêche pas de crabes immatures et 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.
 - Le Secteur des sciences du MPO intègre les connaissances traditionnelles et des pêcheurs dans les approches d'évaluation, ce qui favorise la connaissance de soi, 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 bien 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 (SSN) 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'AP de façon explicite.

Même avec ces mesures, il faut connaître les points de référence biologiques pour la partie ciblée de la population (mâles matures > 95 mm de LC) 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 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 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 le F_{RMS}) 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 :

- le vieillissement n'est actuellement pas possible avec les crustacés;
- la complexité du cycle de vie entraîne une grande variabilité des ogives de maturité, des trajectoires de croissance individuelles et des variations spatiales et temporelles de la taille et de la structure des sexes;
- une relation fiable entre les stocks et le recrutement 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 quant à la longévité, à la taille et à la croissance du corps, aux courbes de maturité, à l'utilisation de l'habitat, au risque de prédation et à l'exploitation des pêches, un tel modèle nécessiterait un grand nombre d'hypothèses pour convertir la BSR en composante exploitable.

Plutôt que de tenter de faire de telles hypothèses potentiellement non défendables, 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 θ :

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

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 inférieur 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 de la composante exploitable par une pêcherie 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 la PNE 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, θ . 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 « vraie ») 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, par 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 (σ^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 $\sigma_{t,o}^2$. On a supposé que l'indice de 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 :

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

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 σ_a^2 . On a supposé que l'*a priori* sur l'erreur d'observation, σ_a^2 , 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 quantifie de manière simpliste l'influence de différents biais, notamment ceux liés aux engins de relevé, aux protocoles d'enquête, aux protocoles d'expansion aérale, à la stratification du relevé, à la modélisation statistique, etc. Elle est trop simpliste, car de tels biais ne sont pas constants dans le temps et dans l'espace. Toutefois, ici, elle sert à obtenir une estimation de premier ordre de ces influences. Historiquement, on a supposé qu'elle était de 1 en raison de la nature du plan d'échantillonnage et de la méthode d'analyse. Aux fins de la modélisation, elle est divisée en deux composantes pour chacun des relevés du printemps (avant 2004) et de l'été (après 2004) avec un *a priori* 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 processus suivait une distribution log-normale (multiplicative) avec variance $\rho\sigma^2$ dont l'*a priori* 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 N.-E. de la N.-É., le S.-E. de la N.-É. et la zone 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 *a priori* étaient peu informatifs. En ce qui concerne la capacité de charge, on a supposé que la distribution était limitée à l'intérieur des maximales historiques estimées précédemment. Pour le taux d'augmentation intrinsèque, la distribution a été choisie pour être centrée sur ~ 1 . Cette estimation est basée sur des estimations approximatives de $\mu \approx 1$ pour des crabes de longévité et de taille similaires, *Cancer pagurus* en Europe (Laurans et Smith, 2007). La distribution postérieure des paramètres d'intérêt, θ , conditionnée par les données, a été estimée par échantillonnage au moyen de la méthode de Monte Carlo par chaîne de Markov (NUTS) en utilisant la plate-forme STAN (STAN, 2015). Quatre chaînes de Markov ont été suivies 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, 8 000 autres simulations ont été utilisées 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));
}
}
}

```