



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2025/007

Région de Terre-Neuve-et-Labrador

Évaluation de la ressource en holothurie touffue (*Cucumaria frondosa*) sur le banc de Saint-Pierre (sous-division 3Ps de l'OPANO) en 2022

K. Charmley, K.D. Baker, E. Coughlan

Direction des sciences
Pêches et Océans Canada
80, chemin East White Hills
St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador) A1C 5X1

Avant-propos

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

Publié par :

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

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



© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2025

Ce rapport est publié sous la [Licence du gouvernement ouvert – Canada](#)

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-75370-6 N° cat. Fs70-5/2025-007F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Charmley, K., Baker, K.D. et Coughlan, E. 2025. Évaluation de la ressource en holothurie touffue (*Cucumaria frondosa*) sur le banc de Saint-Pierre (sous-division 3Ps de l'OPANO) en 2022. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2025/007. iv + 32 p.

Also available in English:

Charmley, K., Baker, K.D., and Coughlan, E. 2025. An Assessment of the Orange-Footed Sea Cucumber (*Cucumaria frondosa*) Resource on the St. Pierre Bank (NAFO subdivision 3Ps) in 2022. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2025/007. iv + 33 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	iv
INTRODUCTION	1
ÉCOLOGIE DE L'ESPÈCE.....	1
LA PÊCHE	2
MÉTHODES.....	3
DONNÉES DES JOURNAUX DE BORD	3
DONNÉES DU RELEVÉ DE LA NOUVELLE PÊCHE	4
DONNÉES DU RELEVÉ DE L'HOLOTHURIE DU MPO	4
INDICE DE LA BIOMASSE	5
RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	6
DONNÉES SUR LA PÊCHE	6
DONNÉES DES RELEVÉS.....	8
Analyses biométriques	8
Autres espèces	9
Indices de la biomasse et de l'abondance	9
Indice du taux d'exploitation.....	10
CONCLUSION	11
RÉFÉRENCES CITÉES	11
ANNEXE I – FIGURES	15

RÉSUMÉ

L'holothurie touffue (*Cucumaria frondosa*) est une espèce d'holothurie largement répandue dans l'hémisphère Nord, tant dans l'Atlantique Nord que l'océan Arctique. Elle se trouve principalement à des profondeurs de 30 à 60 m, sur des substrats durs composés de roches, de gravier et de coquilles. Deux concentrations principales d'holothuries sont présentes dans la partie canadienne du banc de Saint-Pierre (sous-division 3Ps de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest [OPANO]), l'une au nord-ouest et l'autre au sud-est de la zone économique française.

Une nouvelle pêche de l'holothurie a débuté en 2003, pour laquelle huit pêcheurs ont reçu des allocations (454 t) pour explorer les concentrations commerciales potentielles. Dans le cadre de la Politique sur les nouvelles pêches, ces huit mêmes pêcheurs ont conclu un accord de projet conjoint de cinq ans avec Pêches et Océans Canada (MPO) pour mener un relevé d'évaluation de la ressource de 2004 à 2008. Cette pêche est officiellement devenue une pêche commerciale en 2013. L'allocation dans le secteur nord-ouest est passée à 2 242 t en 2013, et n'a pas changé depuis. Le secteur sud-est a été ouvert à la pêche en 2017 avec des permis temporaires pour un total de 3 773 t. Cette allocation est passée à 4 717 t en 2019, et n'a pas changé depuis.

La dernière mise à jour de l'état de l'holothurie de la sous-division 3Ps de l'OPANO remonte à 2018. Elle a permis de conclure qu'il n'existe pas de fondement scientifique pour évaluer le risque d'une augmentation du niveau de récolte et que les taux d'exploitation durables sont inconnus. En 2022, l'état de cette ressource a été évalué en fonction des données sur les prises commerciales, du relevé de la nouvelle pêche (de 2004 à 2008) et des relevés de l'espèce menés par le MPO (en 2016, 2017 et 2022).

En 2022, les débarquements provenant du secteur nord-ouest se sont chiffrés à 2 065 t et ceux provenant du secteur sud-est, à 4 020 t. Les captures par unité d'effort (CPUE) non normalisées ont augmenté dans les deux secteurs depuis le début de la pêche. Certaines données indiquent que la taille des holothuries pourrait diminuer dans les deux secteurs sur la durée de la série chronologique. Un modèle spatiotemporel a été utilisé pour estimer les indices de la biomasse et de l'abondance. En 2022, l'indice de la biomasse pour le secteur nord-ouest était proche de la moyenne observée pendant la nouvelle pêche (de 2004 à 2008). En 2022, l'indice de la biomasse pour le secteur sud-est demeurait inférieur à l'indice moyen de la biomasse observé de 2004 à 2008. L'indice de l'abondance pour le secteur nord-ouest affiche une tendance générale à la hausse depuis le début du relevé. L'indice de l'abondance pour le secteur sud-est a varié sans tendance tout au long de la série chronologique. Les indices des taux d'exploitation devraient demeurer relativement stables en 2023, en supposant que le total autorisé des captures demeure inchangé. Cependant, les taux d'exploitation durables de l'holothurie sur le banc de Saint-Pierre sont inconnus. Compte tenu de l'incertitude entourant l'évaluation de l'état des stocks de cette espèce, il n'y a pas de fondement scientifique pour évaluer le risque du niveau de prise actuel ou d'un changement de ce dernier.

INTRODUCTION

Le présent document évalue l'état de l'holothurie touffue (*Cucumaria frondosa*; « holothurie » dans le reste du document) dans la sous-division 3Ps de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO). L'information contenue dans ce document a été présentée lors d'une évaluation scientifique officielle en mars 2023 et un processus régional d'examen par les pairs a été mené. L'évaluation a porté sur la présentation des données scientifiques actuelles sur l'état du stock afin de faciliter les décisions de gestion de la ressource. Ces données et analyses serviront également à élaborer le Plan de gestion intégrée des pêches (PGIP).

ÉCOLOGIE DE L'ESPÈCE

Cette holothurie est une espèce d'holothurie largement répartie dans l'hémisphère Nord, dans l'océan Atlantique Nord et l'océan Arctique (Hamel et Mercier 2008). Elle occupe une large répartition en profondeur de 0 à 300 m, est rarement trouvée à plus de 1 400 m et les densités les plus élevées se rencontrent de 30 à 60 m (Hamel et Mercier 1996a; Ross *et al.* 2013; Singh *et al.* 1998; So *et al.* 2010). Cette espèce est principalement présente sur des substrats durs composés de roches, de gravier et de coquilles, mais on l'observe aussi à l'occasion sur des substrats sablonneux plus meubles (So *et al.* 2010). Les juvéniles (longueur inférieure à 30 mm) se tiennent habituellement sur le dessous des substrats durs, les individus plus gros se trouvant habituellement sur ces substrats. L'espèce peut atteindre 50 cm de long (Gudimova *et al.* 2004).

Les holothuries sont des suspensivores qui consomment des particules planctoniques en suspension dans la colonne d'eau qu'elles capturent en dépliant leurs tentacules recouverts de mucus, puis en ramenant chaque tentacule dans leur bouche, où les particules alimentaires sont consommées (Singh *et al.* 1999). Les apports saisonniers de particules alimentaires dans la colonne d'eau sont associés à de meilleurs taux d'alimentation et périodes de croissance, les taux de croissance les plus élevés étant enregistrés en été (So *et al.* 2010).

Les holothuries ont une croissance lente, avec des taux de croissance variant selon la maturité, le régime alimentaire et l'emplacement (Gianasi *et al.* 2017; Hamel et Mercier 1996a). Des études en laboratoire ont montré un taux de croissance plus lent des juvéniles à Terre-Neuve que dans d'autres régions de l'est du Canada, et on estime qu'il leur faut 25 ans pour atteindre une taille commerciale (environ 15 cm) dans des conditions naturelles (So *et al.* 2010). Sur le banc de Saint-Pierre, les mâles commencent à atteindre la maturité sexuelle à 5,2 cm de longueur contractée et 100 % sont matures sexuellement à 11,3 cm. Les femelles commencent à atteindre la maturité sexuelle à 7,0 cm de longueur contractée et 100 % de maturité sexuelle à 11,5 cm (Grant *et al.* 2006). Les holothuries sont sexuellement dimorphes avec des gonopores distincts en forme de tube ou de cœur sous leurs tentacules oraux pour les femelles et les mâles, respectivement (Hamel et Mercier 1996a; Montgomery *et al.* 2018). Toutefois, ce dimorphisme externe n'a pas été observé sur le banc de Saint-Pierre (Grant *et al.* 2006).

Les holothuries sont des « reproducteurs à la volée », ce qui signifie que les deux sexes communiquent chimiquement afin de coordonner la libération de leurs gamètes dans la colonne d'eau pour la fertilisation externe. Pour favoriser le succès de la reproduction, les adultes se regroupent; une plus grande dispersion pourrait donc avoir des effets négatifs sur la fertilisation de l'holothurie. La fécondité de l'individu augmente avec sa taille (Hamel et Mercier 1996b). La fraie a lieu chaque année et est corrélée avec la concentration de phytoplancton, les niveaux de lumière et les cycles de marée et lunaires (Gianasi *et al.* 2021; Hamel et Mercier 1995; Mercier et Hamel 2010). Le moment de la fraie varie légèrement selon la latitude; la saison, qui a lieu

chaque année de février à mai, est la plus longue et la plus précoce à Terre-Neuve (Coady 1973; Mercier et Hamel 2010; So *et al.* 2010). Les gros œufs fécondés à vitellus abondant se développent dans la colonne d'eau pour devenir des larves qui ne s'alimentent pas et resteront de quatre à sept semaines dans la colonne d'eau avant de se déposer sur le plancher océanique (Hamel et Mercier 1996a; So *et al.* 2010).

Les holothuries sont vulnérables à plusieurs prédateurs potentiels, notamment les étoiles de mer, les gastropodes, les poissons, les oiseaux et les mammifères marins (p. ex. phoques et morses) (Francour 1997; Gianasi *et al.* 2021; So *et al.* 2010). Le soleil de mer pourpre (*Solaster endeca*) est considéré comme leur principal prédateur à tous les stades biologiques. Les holothuries blessées sont plus vulnérables aux prédateurs et aux détritivores (So *et al.* 2010). Les holothuries utilisent des mécanismes de défense comportementaux, comme l'ondulation du corps, le gonflement, l'augmentation de la production de mucus et la fuite (Gianasi *et al.* 2015; So *et al.* 2010).

Elles se déplacent en rampant ou en gonflant leur corps pour rouler de façon active ou passive (portées par le courant) (Sun *et al.* 2018). Les juvéniles passent par une série de migrations à l'échelle des centimètres ou des mètres. Une fois déposés sur le fond, ils migrent dans des zones plus protégées puis, à mesure qu'ils grandissent (plus de 2 mm), vers des zones exposées où la nourriture est plus disponible (Hamel et Mercier 1996a). Les holothuries adultes peuvent parcourir de longues distances (en kilomètres) et franchir jusqu'à 90 km/jour lorsqu'elles utilisent des courants (Hamel et al. 2019). Les adultes effectuent une migration vers le bas du talus en automne à la maturité sexuelle (Hamel et Mercier 1996a). Cette migration est probablement contrôlée par des facteurs environnementaux externes (p. ex. changements de température ou de lumière) ou par des facteurs intrinsèques à la maturité. On ne pense pas que les holothuries remontent le talus (Gianasi *et al.* 2021).

L'opinion actuelle est qu'il n'y a pas de différence génétique entre les sous-populations d'holothuries le long de l'Atlantique Ouest, ce qui donne à penser qu'il existe une seule grande population (So *et al.* 2011); cependant, il serait utile de le confirmer au moyen de méthodes génomiques modernes.

Les changements climatiques peuvent avoir des effets sur les holothuries. Les températures changeantes de l'eau influeraient probablement sur les populations puisque la température influence la fraie, la croissance des juvéniles, l'absorption d'oxygène et la consommation par les prédateurs (Gianasi *et al.* 2019; Hamel et Mercier 1996a; Hopcroft *et al.* 1985; So *et al.* 2010). Les holothuries peuvent également être vulnérables à l'acidification des océans en raison de leur stade larvaire pélagique durant lequel elles ne s'alimentent pas (Verkaik *et al.* 2016). Comme elles ingèrent de petits fragments de microplastique pendant l'alimentation par suspension, elles sont vulnérables à la pollution par les microplastiques (Graham et Thompson 2009).

LA PÊCHE

Les holothuries ont été récoltées commercialement pour la première fois dans l'est de l'Atlantique Nord, dans le Maine, dans les années 1970 (Hamel et Mercier 2009). Cependant, c'est un aliment traditionnel des Inuits, qui les pêchent et les consomment depuis des générations (Wein *et al.* 1996). À Terre-Neuve-et-Labrador, l'holothurie était une espèce de prise accessoire abondante dans d'autres pêches (p. ex. pétoncles). En 1997, les voyages exploratoires d'essai en mer ont commencé par l'Entente de coopération entre le Canada et Terre-Neuve sur le développement de l'industrie de la pêche (CAFID 1997). En 2001, le ministère des Pêches et de l'Aquaculture de Terre-Neuve-et-Labrador a effectué un relevé des aires de pêche potentielles et a exploré les types d'engins de pêche possibles (DFA 2002). Il a

déterminé que des niveaux commerciaux de biomasse d'holothurie existaient sur le banc de Saint-Pierre. La récolte en plongée a été jugée non rentable à cet emplacement et une drague à oursins modifiée de 6 pieds a été adoptée comme engin normalisé. Les relevés historiques du MPO et du ministère des Pêches et de l'Aquaculture ont permis de délimiter une grille de strates sur le banc de Saint-Pierre divisée en deux secteurs, un au nord-ouest et un au sud-est de la zone d'exclusion économique française (le corridor français). La saison de pêche va du 1^{er} juin au 31 décembre chaque année pour éviter la saison de fraie de l'holothurie au printemps.

En 2003, huit pêcheurs ont reçu des allocations (454 t) pour le secteur nord-ouest afin de poursuivre l'exploration des concentrations commerciales potentielles. Ils ont trouvé des concentrations commerciales et des quotas ont été capturés, la plupart des débarquements provenant des strates 2 et 7. En 2004, une entente conjointe de cinq ans (MPO, ministère des Pêches et de l'Aquaculture, Fogo Island Co-op Society Ltd. et la Fish, Food and Allied Workers Union) a été conclue en vertu de la Politique sur les nouvelles pêches du MPO avec ces huit mêmes pêcheurs pour mener des relevés d'évaluation de la ressource. Les pêcheurs devaient participer activement à la pêche pendant cinq ans, soumettre des journaux de bord détaillés et effectuer des relevés. Après avoir terminé les stations de relevé qui leur étaient assignées, les participants pouvaient pêcher leur total autorisé des captures (TAC) tout en respectant toutes les conditions de leur permis. Les participants n'étaient pas autorisés à capturer plus de 25 % de leurs débarquements dans les strates 2 et 7 (les strates les plus pêchées en 2003). En 2006, la politique a été révisée de façon à ce que les participants ne puissent pas prendre plus de 30 % de leurs débarquements dans une strate. Ce règlement est demeuré en vigueur jusqu'à la fin de la nouvelle pêche en 2008. Le TAC est passé à 612 t en 2005 dans le but d'indemniser les pêcheurs pour la partie de leurs débarquements bruts qui était composée d'eau, de débris ou d'holothuries endommagées ou de taille inférieure à la taille réglementaire. À la fin de la nouvelle pêche, l'allocation pour le secteur nord-ouest a passé à 907 t et le secteur sud-est a été fermé jusqu'à ce qu'on dispose de plus d'information sur les effets potentiels de l'exploitation.

La pêche est officiellement devenue une pêche commerciale en 2013. À ce moment-là, dix nouveaux permis ont été délivrés, faisant augmenter le TAC pour le secteur nord-ouest à 2 242 t; il est demeuré inchangé. En 2017, le secteur sud-est a été ouvert à la pêche avec des permis temporaires pour une allocation totale de 3 773 t, qui devait expirer en 2022. Ces permis ont été portés à 4 717 t en 2019 et le TAC du secteur sud-est n'a pas changé depuis. La récolte actuelle autorisée est de 6 959 t annuellement sur le banc de Saint-Pierre.

MÉTHODES

DONNÉES DES JOURNAUX DE BORD

Les données sur les prises commerciales et l'effort de pêche (nombre de traits) ont été recueillies à l'aide des bordereaux d'achat commerciaux et des journaux de bord des navires. Pendant la nouvelle pêche (de 2003 à 2008), la Gestion des pêches a transmis les journaux de bord aux Sciences du MPO, où ils ont été traités. Depuis 2010, ces données ont été compilées par la Division de la statistique de la Direction générale des politiques et de l'économie du MPO. Les données de la dernière année des journaux de bord sont incomplètes en raison du délai associé à la compilation des données de la pêche; de ce fait, les estimations de 2022 comprennent les données accessibles jusqu'en février 2023 et sont considérées comme préliminaires.

Les débarquements (t) et les captures par unité d'effort (CPUE; kg/trait) ont été évalués par année et par strate. Les CPUE de la nouvelle pêche ont été normalisées à des traits de 0,5 mille marin; cependant, il n'a pas été possible de normaliser les journaux de bord depuis 2009, car l'information n'est pas documentée trait par trait. La pêche commerciale documente l'information par voyage; ainsi, la CPUE depuis 2010 a été calculée en divisant le total des débarquements par le nombre de traits. Les positions des traits tirées des journaux de bord ont été cartographiées pour évaluer la distribution de l'effort chaque année.

DONNÉES DU RELEVÉ DE LA NOUVELLE PÊCHE

Au début de la nouvelle pêche en 2003, on a utilisé les données historiques des relevés antérieurs de l'holothurie menés par le MPO (c.-à-d. les relevés du pétoncle et plurispécifiques) et les relevés réalisés par le ministère des Pêches et de l'Aquaculture pour créer un plan de relevé par quadrilatère pour le banc de Saint-Pierre. La zone de relevé comprenait 52 strates de $10^\circ \times 10^\circ$ (latitude x longitude) subdivisées en unités de relevé de $1^\circ \times 1^\circ$ (figure 1). On a utilisé les courbes de niveau de 100 m pour former les strates. En 2003, ce système de blocs a été pêché, mais n'a pas fait l'objet d'un relevé adéquat; par conséquent, aucune estimation de la biomasse n'a été calculée pour cette année-là.

En 2004, le nombre de strates de relevé a été réduit à 32 en fonction des classifications du fond de la zone et des préférences de profondeur et de répartition de l'holothurie. Des stations de relevé ont été attribuées au hasard dans ces 32 strates. Pour un trait standard, on a utilisé une drague à oursins modifiée de six pieds remorquée sur une distance de 0,5 mille marin à 2,5 nœuds. L'une des conditions du permis de nouvelle pêche était d'avoir un observateur à bord pendant la durée du relevé pour effectuer l'échantillonnage et consigner l'information sur les traits. Huit navires ont participé aux relevés de 2004 à 2006, et un seul de 2007 à 2008. En 2005, la configuration des engins a donné une estimation peu fiable de la biomasse, de sorte que cette estimation a été retirée des analyses. En 2006, le nombre de strates du relevé a été réduit à 23 en éliminant les strates où aucune holothurie n'avait été capturée les années précédentes (2004-2005). Ces 23 strates sont demeurées pour la nouvelle pêche et tout au long de la pêche commerciale (figure 2).

On a calculé le poids total et le nombre d'holothuries par calée en notant le poids et le nombre d'individus dans un seul bac (le contenant en plastique dans lequel les holothuries sont entreposées pendant les activités de pêche) et en multipliant ces poids et ces nombres par le nombre total de bacs. En 2008, ce protocole n'a pas été suivi; on a plutôt enregistré le poids de 50 ou 100 holothuries et le nombre total de bacs. Par conséquent, pour calculer le poids total et le nombre d'holothuries par calée pour 2008, on a utilisé les poids et nombres moyens par bac, par strate et par navire dans le relevé de 2007.

DONNÉES DU RELEVÉ DE L'HOLOTHURIE DU MPO

En 2016, le MPO a entrepris un relevé de l'holothurie en utilisant les mêmes protocoles de trait que pour les relevés de la nouvelle pêche. Une drague à oursins modifiée normalisée de six pieds a été remorquée sur une distance de 0,5 mille marin à 2,5 nœuds, avec un rapport des câbles à la profondeur (m) de 3:1 et les sites d'échantillonnage ont été sélectionnés selon une approche à stratification aléatoire dans la grille des strates. Le poids total et le nombre d'holothuries dans chaque calée ont été consignés et normalisés par la suite à 0,5 mille marin. Si une prise comptait plus de cinq paniers d'holothuries, les nombres étaient sous-échantillonnés et estimés en utilisant le poids total. On a également noté le poids (kg) et le nombre de toutes les autres espèces capturées. Les poissons visés par des pêches commerciales, les étoiles de mer et les pétoncles étaient également mesurés (mm). Le

pourcentage des « autres espèces » dans la biomasse totale des prises a été calculé comme substitut des prises accessoires commerciales potentielles.

Les données biométriques ont été recueillies dans chaque calée pour un sous-ensemble des holothuries. On a enregistré la longueur (bout à bout; mm), la circonférence (mm) et le poids total (g; à 0,1 g près) d'un maximum de 50 holothuries dans chaque calée. Le poids individuel de 100 holothuries supplémentaires au maximum a été consigné. Ces données ont été recueillies le plus tôt possible après la fin de la calée afin de réduire la perte d'eau; cependant, une certaine variabilité est à prévoir en raison de la grande plasticité des holothuries.

Le relevé de 2016 a couvert toutes les strates du secteur sud-est et 23 % du secteur nord-ouest (strates 13, 16 et 17). Le secteur nord-ouest a été terminé en 2017 (strates 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13 et 14). En 2022, les strates du secteur sud-est ont été échantillonnées en entier, mais avec des calées réduites, en raison de difficultés imprévues pendant le relevé.

INDICE DE LA BIOMASSE

Dans les évaluations précédentes, on a utilisé le processus d'évaluation aléatoire stratifiée (STRAP) (Smith et Somerton 1981) pour déterminer les indices de la biomasse et de l'abondance pour chaque banc à partir du relevé de la nouvelle pêche et du relevé de l'holothurie du MPO. Le processus STRAP est une méthode d'expansion spatiale qui utilise les données sur le taux de prise dérivé des relevés pour estimer les indices de la biomasse et de l'abondance. Il utilise les poids et nombres moyens des individus échantillonnés dans chaque strate, multipliés par la superficie de cette strate, comme estimation du poids total ou du nombre total d'individus dans cette strate. La méthode STRAP exige un échantillonnage uniforme d'au moins deux calées par strate pour chaque année du relevé afin de maintenir la cohérence de la série chronologique et des analyses des tendances. Comme il a été mentionné ci-dessus, la couverture spatiale des relevés de l'holothurie n'a pas été uniforme ces dernières années, aucun relevé effectué par le MPO ne couvrant toute la zone de relevé une année donnée, et il est donc impossible de calculer un indice de la biomasse à l'échelle de la zone sur toute la série chronologique à l'aide des méthodes précédentes (STRAP).

C'est pourquoi nous avons créé un modèle spatiotemporel pour élaborer les indices de la biomasse et de l'abondance les années pour lesquelles les données sont accessibles, à l'aide du progiciel *sdmTMB* en R (Anderson *et al.* 2022). Cette technique de modélisation a été examinée par des pairs et approuvée pour l'évaluation de l'espèce par le Conseil international pour l'exploration de la mer (CIEM 2022) et l'OPANO (OPANO 2022). De plus, le Comité permanent sur la coordination de la recherche (STACREC) de l'OPANO a recommandé d'explorer la technique du modèle pour les espèces présentes dans la zone de réglementation de l'OPANO (OPANO 2022).

À l'aide de toutes les données du relevé de l'holothurie accessibles, nous avons construit une maille de l'équation différentielle partielle stochastique (EDPS) avec une distance minimale de 5 km de la limite à l'aide d'une approximation de Laplace imbriquée intégrée (INLA). La maille était composée de 186 sommets.

Nous avons utilisé un modèle spatiotemporel pour dériver les estimations annuelles de la biomasse (en kilogrammes) et de l'abondance (en nombre) (équ. 1). Les modèles ont été construits et ajustés à l'aide du progiciel *sdmTMB*, qui intègre un modèle Template Model Builder (T.M.B.) et les matrices de l'EDPS (Anderson *et al.* 2022; Rue *et al.* 2009).

L'anisotropie, une covariable de la profondeur et diverses familles (p. ex. Tweedie, delta-gamma et delta log-normale) ont été prises en compte dans la formulation du modèle. Le meilleur modèle a été choisi en fonction du critère d'information d'Akaike (AIC), de la capacité de converger et des vérifications qui garantissent un maximum de log-vraisemblance du

gradient par rapport à tous les effets fixes inférieures à 0,001, que la hessienne était positive définie et qu'aucun écart type marginal de champ aléatoire n'était inférieur à 0,01.

Équ. 1.

$$\text{Densité} = 0 + \text{as.factor}(\text{Année})$$

où *Densité* était la biomasse normalisée (kg/km²) ou le nombre d'holothuries dans une calée pendant le relevé à la drague et *Année* est l'année du relevé, représentée comme un facteur. Les autocorrélations spatiale et spatiotemporelle étaient incluses en tant que champs aléatoires gaussiens pour tenir compte de l'évolution des paramètres de qualité de l'habitat non mesurés ou latents dans l'espace et dans le temps. Les champs aléatoires spatiotemporels ont été posés comme indépendants d'une année à l'autre. L'effet spatial aléatoire et la dynamique temporelle variable dans l'espace ont été estimés par triangulation de Delaunay sur la maille, en supposant des champs aléatoires de Markov gaussiens (Rue et Held 2005). Le meilleur modèle a été ajusté à l'aide d'une distribution delta-log normale. Les modèles delta combinaient un modèle linéaire mixte généralisé binomial avec un lien logit pour la composante présence-absence et un modèle linéaire mixte généralisé log-normal avec un lien log pour les données positives. L'anisotropie (partagée et divisée entre les composantes du modèle) et l'inclusion de la profondeur n'ont pas amélioré le modèle et n'ont donc pas été incluses.

Le modèle a été utilisé pour prévoir la biomasse et l'abondance de l'holothurie chaque année dans toute la zone de relevé sur une surface quadrillée de 4 km². La biomasse et l'abondance annuelles ont été calculées dans toute la zone et dans chaque banc à l'aide de la densité en surface prévue.

Les estimations de la biomasse et de l'abondance dérivées du modèle ont été comparées aux estimations tirées de la méthode STRAP (Smith et Somerton 1981). Étant donné que la méthode STRAP ne peut pas gérer les données manquantes, nous n'avons pu comparer les estimations de la biomasse que dans un sous-ensemble de strates faisant régulièrement l'objet d'un relevé dans chaque banc (secteur nord-ouest : strates 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14; secteur sud-est : strates 33, 34, 35, 37, 38, 39, 41, 42, 43) les années où les relevés ont eu lieu.

Les taux d'exploitation ont été calculés pour chaque banc à l'aide des estimations de la biomasse dérivées du modèle et des débarquements de la pêche pour chaque banc. Les taux d'exploitation pendant la nouvelle pêche (de 2004 à 2008) ont été calculés à l'aide de l'estimation de la biomasse et des débarquements de la même année depuis le début des relevés avant que les participants pêchent leur TAC. Pour les indices des taux d'exploitation calculés à l'aide des estimations de la biomasse provenant du relevé de l'holothurie du MPO (2016, 2017, 2022), nous avons utilisé les débarquements décalés d'une année par rapport aux indices de la biomasse. En effet, la plupart des débarquements commerciaux avaient lieu plus tôt dans la saison que les relevés du MPO (en septembre; figure 3).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

DONNÉES SUR LA PÊCHE

Les journaux de bord servent à recueillir des renseignements sur la pêche, comme l'emplacement des débarquements et les CPUE. Le pourcentage des débarquements qui sont représentés dans les journaux de bord retournés est variable tout au long de la série chronologique, allant de 62 % (secteur nord-ouest en 2014) à 100 % (figure 4). Des taux de retour élevés des journaux de bord sont essentiels pour surveiller la durabilité de la pêche. Les données des journaux de 2022 utilisées dans cette évaluation sont préliminaires et ne reflètent

que les journaux de bord reçus et traités en février 2023, soit 61 % des débarquements provenant du secteur nord-ouest et 70 % de ceux provenant du secteur sud-est.

Des prélèvements sont effectués depuis 2003 dans le secteur nord-ouest et depuis 2017 dans le secteur sud-est. Dans le secteur nord-ouest, le TAC a graduellement augmenté, passant de 454 t en 2003 à 2 242 t en 2013; il n'a pas changé depuis (figure 5). Dans le secteur nord-ouest, de 2003 à 2014, les débarquements étaient en moyenne de 671 t, sauf en 2007, lorsqu'ils sont tombés à un creux de la série chronologique (190 t) en raison des mauvaises conditions du marché. Les débarquements ont augmenté en 2015, deux ans après l'augmentation du TAC. Toutefois, de 2015 à 2021, les débarquements du secteur nord-ouest sont demeurés relativement constants à une moyenne de 2 239 t. En 2022, ils étaient de 2 065 t. Dans le secteur sud-est, le TAC a commencé à 3 773 t en 2017 et a augmenté à 4 717 t en 2019, inchangé depuis. Les débarquements étaient faibles la première année de la pêche, à 1 429 t en 2017 (moins de 40 % du TAC). Depuis, les débarquements du secteur sud-est sont variables, avec une moyenne de 4 020 t (figure 5). En 2022, ils étaient de 4 019 t. Ils n'ont jamais atteint leur TAC depuis le début de la pêche.

La répartition des débarquements est plus large dans le secteur sud-est que pour le secteur nord-ouest (figure 6). La plupart des débarquements provenant du secteur nord-ouest étaient issus de la strate 7 sur toute la série chronologique, sauf en 2005, où 71 % étaient issus de la strate 8. Pendant la nouvelle pêche, les débarquements étaient un peu plus étendus dans le secteur sud-est en raison des exigences correspondantes des permis, mais ils demeuraient malgré tout surtout dans les trois strates les plus au nord-ouest de ce banc. En 2022, 100 % des débarquements du secteur nord-ouest qui ont été documentés dans les journaux de bord avaient été pêchés dans la strate 7 (donnée *préliminaire*), comme de 2016 à 2019. Dans le secteur sud-est, la plupart des débarquements provenaient de la strate 37 jusqu'en 2022, année où ils ont été plus nombreux dans la strate 42.

La CPUE dans la pêche a augmenté de façon constante dans les secteurs nord-ouest et sud-est (figure 5). Dans le secteur nord-ouest, la CPUE a atteint un pic de la série chronologique à 1 100 kg/trait en 2020, mais a diminué depuis et est demeurée à 939 kg/trait. Dans le secteur sud-est, la CPUE a atteint un pic de la série chronologique en 2022 avec une valeur de 1 169 kg/trait (donnée *préliminaire*). En raison des tendances générales à la hausse de la CPUE dans les deux secteurs, les débarquements qui n'atteignent pas leur TAC sont probablement attribuables à des facteurs externes (p. ex. des raisons socio-économiques et des problèmes de marché). Cependant, la CPUE commerciale non normalisée n'est pas un paramètre fiable de l'état du stock, car plusieurs autres facteurs faussent les interprétations du rendement de la pêche. La CPUE n'est pas un indice proportionnel de l'abondance et peut demeurer élevée lorsque l'abondance de la population diminue (c.-à-d. que les tendances des CPUE affichent une hyperstabilité; Bannerot et Austin 1983; Harley *et al.* 2001). La CPUE est probablement hyperstable pour ce stock parce que les efforts de pêche sont ciblés sur des lieux de pêche fructueux connus (c.-à-d. qu'ils ne sont pas distribués au hasard) et que les holothuries du banc de Saint-Pierre présentent une répartition spatiale très fragmentée (So *et al.* 2010; MI 2006). D'autres espèces d'holothuries aux États-Unis donnent des exemples de CPUE de la pêche qui demeurent stables alors que les populations déclinent (Bradbury 1994; Schroeter *et al.* 2001).

La CPUE de la pêche est spatialement variable sans tendance claire (figure 7). Certaines années, les deux secteurs affichent un épuisement en cours d'année (CPUE en baisse; figure 8). Le secteur sud-est présentait des signes d'épuisement tout au long de 2019 et le secteur nord-ouest en 2019 et 2021; toutefois, ces tendances étaient elles aussi variables. On observe des augmentations en milieu d'année (entre juillet et septembre) de la CPUE dans les deux secteurs certaines années (p. ex. en 2020 et en 2022). Ces pics de la CPUE pourraient

indiquer que les holothuries migrent des eaux peu profondes dans des eaux plus profondes, un déplacement qui a été documenté au début de l'automne (Hamel et Mercier 1996a; Jordan 1974).

DONNÉES DES RELEVÉS

Le nombre de calées et la profondeur de couverture ont diminué dans les relevés des dernières années (figure 9, figure 10). Les relevés de la nouvelle pêche comportaient en moyenne 128 calées (écart type $[ET] = 5,6$) dans le secteur nord-ouest et 90 calées dans le secteur sud-est. Le relevé de l'holothurie du MPO a été effectué dans chaque secteur deux années, avec une moyenne de 32 calées dans le secteur nord-ouest et de 43 calées dans le secteur sud-est. Même si l'on s'attendait à une réduction de la couverture des relevés avec la fin des relevés des pêcheurs qui sont requis pour les permis de nouvelle pêche, une couverture adéquate et uniforme des relevés est importante pour décrire les communautés hétérogènes fragmentées.

La couverture dans la tranche d'eau la plus profonde des calées (plus de 65 m) est minimale dans les relevés effectués par le MPO dans le secteur nord-ouest, ainsi que dans le relevé de 2022 dans le secteur sud-est. Les sites à plus de 65 m de profondeur sont également rares dans les relevés de la nouvelle pêche (environ 1 %) et les sites de relevé sont attribués selon un échantillonnage aléatoire stratifié. Néanmoins, les holothuries présentent une relation positive entre leur taille et la profondeur, de sorte que la perte systématique continue d'une classe de profondeur pourrait devenir un problème pour l'interprétation des tendances dans les données.

Analyses biométriques

Nous avons étudié les relations entre la longueur et le poids et entre la circonférence et le poids des holothuries des secteurs nord-ouest et sud-est. Avec l'ajout des données de 2022, le secteur nord-ouest est toujours constitué d'animaux plus gros et plus lourds que le secteur sud-est (figure 11). Cette différence est apparue dans les évaluations antérieures de l'holothurie de la sous-division 3Ps (MPO 2009; Pantin *et al.* 2018) et dans Grant *et al.* 2006. Le mécanisme à l'origine de cette différence de taille est inconnu; il pourrait être dû aux types de substrats (So *et al.* 2010) ou aux différences dans les apports alimentaires (Hamel et Mercier 1996a). La courbe de tendance du relevé de 2022 dans le secteur sud-est était moins ample, dénotant que les holothuries pourraient être plus petites que lors du relevé de 2016 dans la même région.

Nous avons approfondi l'examen de la taille de chaque holothurie en divisant le poids total des holothuries par leur nombre total dans chaque trait du relevé. Le poids moyen des holothuries dans les secteurs nord-ouest et sud-est a diminué depuis la nouvelle pêche (figure 12). Pendant la nouvelle pêche, le poids moyen d'un individu était de 0,61 kg dans le secteur nord-ouest et de 0,42 kg dans le secteur sud-est. Pendant les relevés effectués par le MPO, le poids moyen de chaque holothurie était de 0,41 kg dans le secteur nord-ouest et de 0,28 kg dans le secteur sud-est.

On ignore la raison de la diminution de taille observée. Il est possible que la pêche ait retiré du secteur des animaux de taille commerciale, ce qui se traduit par une taille moyenne individuelle plus petite. Les indicateurs d'une taille réduite sont considérés comme un paramètre utile pour évaluer l'état des pêches de l'holothurie (Anderson *et al.* 2010). Cette réduction de la taille induite par la pêche serait la preuve d'une surexploitation et une source de préoccupation puisque les gros individus sont plus féconds (Hamel et Mercier 1996b). Par ailleurs, ou parallèlement, il est également possible qu'étant donné que les relevés du MPO ont eu lieu en

septembre, les holothuries soient naturellement plus légères à cette période de l'année. Des fluctuations saisonnières du poids ont été observées pour la plupart des classes de taille de l'holothurie. On a documenté une augmentation du poids à la suite de la prolifération printanière du phytoplancton et une baisse du poids pendant les périodes de faibles apports alimentaires (So *et al.* 2010). Étant donné que les relevés de la nouvelle pêche ont surtout eu lieu en juin et en juillet et que le MPO a effectué ses relevés en septembre, aucune année ne s'est étendue sur plusieurs saisons, de sorte que nous ne pouvons pas distinguer ces mécanismes possibles. La diminution du poids moyen par rapport à la nouvelle pêche ne semble pas être liée à la couverture réduite de la profondeur des relevés du MPO, car on observe des diminutions de la taille à certaines profondeurs (figure 13). Le ratio des recrues n'a pas été différencié dans cette évaluation.

Autres espèces

Dans le relevé de 2022 du MPO, les holothuries représentaient 62 % du poids total des prises et 88 % du poids total de la biomasse. Les roches représentaient 24 % du poids total des prises. Ainsi, les autres espèces (12 % du poids de la biomasse) étaient inférieures à celles des relevés de 2016 et de 2017 (figure 14). Cependant, elles n'étaient pas aussi basses que dans la nouvelle pêche, où les « autres espèces » (alors appelées « prises accessoires ») représentaient moins de 2 % de la prise totale (MPO 2009). Les pétoncles géants (*Placopecten magellanicus*) étaient les principales espèces autres que les holothuries capturées en 2022, constituant environ 5 % du poids total de la biomasse dans le relevé. Venaient ensuite les clypéastres (*Echinarachnius parma*) à 3 % du poids des organismes et les étoiles de mer *Solaster* (*S. endeca*), les gastropodes et les oursins verts (*Strongylocentrous droebachiensis*), chacun à 1 %. Ces résultats contrastent avec les relevés de 2016 et de 2017 du MPO, où les oursins de mer représentaient > 12 % des prises. La raison de ces changements interannuels des espèces capturées est inconnue, mais on pourrait penser à des changements possibles dans la structure de cet écosystème.

La prise du principal prédateur de l'holothurie, *S. endeca*, a également augmenté (1 % de la biomasse en 2022; figure 15). Les densités les plus élevées de cette espèce ont été observées dans les strates 37 en 2016 et 2022, où la plupart des débarquements d'holothuries du secteur sud-est ont eu lieu avant 2022, ce qui coïncide avec des études antérieures sur le banc de Saint-Pierre, où *S. endeca* était le plus souvent présent dans les zones abritant de fortes densités d'holothuries (So *et al.* 2010). Le relevé de 2016 a eu lieu avant le début de la pêche commerciale dans le secteur sud-est, de sorte que l'augmentation du nombre de *S. endeca* depuis pourrait s'expliquer par le fait que *S. endeca* est attiré dans des zones fortement exploitées, car il y trouve davantage d'holothuries endommagées et donc une plus grande disponibilité de nourriture (So *et al.* 2010). On estime que jusqu'à 2 % des holothuries adultes du banc de Saint-Pierre sont consommées chaque année par *S. endeca* (So *et al.* 2010).

Indices de la biomasse et de l'abondance

L'indice moyen de la biomasse pour les relevés de la nouvelle pêche (avant les pêches commerciales) était de 86 kt dans le secteur nord-ouest et de 224 kt dans le secteur sud-est. L'estimation de la biomasse dans le secteur nord-ouest est demeurée autour de cette valeur d'avant la pêche commerciale, à 103 kt en 2016, 61 kt en 2017 et 94 kt en 2022 (figure 16). L'indice de la biomasse dans le secteur sud-est a toujours été inférieur à l'indice d'avant la pêche commerciale, à 199 kt en 2016, 120 kt en 2017 et 162 kt en 2022.

L'indice moyen de l'abondance pour les relevés de la nouvelle pêche était de 144 millions dans le secteur nord-ouest et de 611 millions dans le secteur sud-est. Dans le secteur nord-ouest, les indices de l'abondance ont toujours été plus élevés que l'indice moyen d'avant la pêche

commerciale (figure 17). L'indice de l'abondance le plus élevé dans le secteur nord-ouest pour la série chronologique a été enregistré en 2022, à 287 millions. Dans le secteur sud-est, les indices de l'abondance ont varié sans tendance tout au long de la série chronologique.

Les indices de la biomasse et de l'abondance sont particulièrement incertains depuis quelques années en raison de la couverture réduite des relevés. Des relevés plus fréquents et avec une couverture accrue sont essentiels pour la surveillance future de ce stock.

Les indices de la biomasse et de l'abondance avec la couverture réduite étaient comparables à ceux calculés à l'aide de la méthode STRAP (figures 18 et 19). Les indices différaient légèrement entre les deux méthodes, mais dégageaient des tendances semblables. Les indices de la biomasse et de l'abondance dérivés du modèle pour le secteur nord-ouest sont en grande partie inférieurs aux indices produits par la méthode STRAP, et surtout supérieurs pour le secteur sud-est. Les plages des intervalles de confiance sont souvent plus petites pour les estimations par *sdmTMB*. La moyenne des indices mis à jour était de $\pm 10,5$ % des indices précédents selon la méthode STRAP.

Les profils spatiaux de la densité de la biomasse sont demeurés relativement inchangés tout au long de la série chronologique (figure 20). Les conditions environnementales sont probablement optimales pour les holothuries aux emplacements où l'espèce est présente dans de fortes densités. Par exemple, le type de substrat peut avoir une incidence sur la taille et la densité de l'holothurie. On a également constaté que les densités d'holothuries sur le banc de Saint-Pierre ont un poids plus élevé avec un substrat plus dur (So *et al.* 2010). Les densités sont aussi les plus élevées sur les substrats de gravier et de galets comparativement au sable, aux coquilles et aux substrats rocheux (MI 2006). D'autres variables comme la topographie, les courants et le champ de prédateurs peuvent également avoir une incidence sur les densités (MI 2006).

Il existe plusieurs sources d'incertitude pour les indices de la biomasse et de l'abondance. Bien que les dragues à holothurie soient efficaces, leur efficacité exacte est inconnue, mais elle est inférieure à 1 (MI 2006). Les holothuries sont composées de 6,5 à 82 % d'eau (MI 2005), mais les indices sont calculés à partir du poids humide frais, sans ajustement pour la perte d'eau. Nous présentons les indices pour les différents secteurs afin qu'ils correspondent à la gestion des pêches; cependant, une connectivité entre les deux secteurs est possible. C'est pourquoi les indices de la biomasse et de l'abondance ne sont pas considérés comme des estimations absolues; ils sont plutôt destinés à l'observation des tendances au fil du temps.

Indice du taux d'exploitation

Les indices du taux d'exploitation ont été calculés en divisant les indices de la biomasse par les débarquements annuels bruts. Les débarquements bruts sont mesurés par les entreprises de surveillance à quai lorsqu'ils sont sortis des bateaux de pêche. Les holothuries restent dans la cale d'un navire pendant le voyage et le retour au quai, soit de deux à trois jours. Les estimations de la biomasse sont tirées des relevés du MPO, au cours desquels les poids sont enregistrés dès que l'holothurie est retirée de l'eau, afin de représenter le « poids humide ». L'indice du taux d'exploitation est une estimation minimale en raison des problèmes de perte d'eau inhérents à cette espèce et de la non-concordance dans la méthodologie (c.-à-d. temps après le prélèvement) entre les mesures des poids des débarquements commerciaux et dans les relevés. Cependant, les taux d'exploitation ne sont pas absolus et ne visent qu'à observer les tendances au fil du temps. Le taux d'exploitation dans le secteur nord-ouest a atteint un pic de la série chronologique à 3,7 % en 2018 (figure 21). On estime qu'il baissera à 2,4 % en 2023 (avec le TAC inchangé). Dans le secteur sud-est, le taux d'exploitation devrait atteindre un pic de la série chronologique à 2,9 % en 2023 (en supposant un TAC inchangé). Les taux d'exploitation durables de l'holothurie sur le banc de Saint-Pierre sont inconnus.

Il convient de se pencher sur le sort des autres pêches de l'holothurie dans le monde. En 2013, un examen a révélé que 58 % des stocks mondiaux d'holothuries étaient surexploités ou épuisés (Purcell *et al.* 2013). La pêche en plongée de l'holothurie du Pacifique (*Parastichopus californicus*) en Colombie-Britannique peut soutenir des taux d'exploitation de 2 à 4 %, mais affiche des réductions de densité à 8 et 16 % (Hand *et al.* 2008). On a estimé que des taux d'exploitation de 2 à 4 % pourraient épuiser certains stocks (*Isostichopus badionotus* et *Holothuria mexicana*; Purcell *et al.* 2018), et que des prises inférieures à 5 % de la biomasse vierge pourraient entraîner la fermeture de la pêche de l'*Holothuria nobilis* en raison de l'épuisement des populations (Uthicke *et al.* 2004).

C. frondosa est l'une des espèces d'holothurie dont la croissance est la plus lente, et il lui faut jusqu'à 25 ans pour entrer dans la pêche. Des densités de population élevées sont nécessaires pour la communication chimique entre les organismes et le succès de la fécondation. La densité minimale requise pour la fécondation est inconnue. Il est donc probablement important de fixer des taux d'exploitation prudents pour assurer la longévité de cette pêche.

CONCLUSION

Il subsiste des incertitudes sur la biologie de l'holothurie sur le banc de Saint-Pierre. Il faut donc être prudent lors de l'interprétation des indicateurs de l'état du stock pour cette pêche. L'holothurie présente un degré élevé de plasticité physique et son poids peut varier selon la saison ou l'endroit. Il est donc difficile de recueillir des données significatives sur ses paramètres biologiques. De ce fait, il existe des incertitudes entourant la relation entre la taille et l'âge de l'holothurie et le recrutement. Les taux de mortalité naturelle sont inconnus, tout comme la survivabilité des individus rejetés dans cette pêche et dans les pêches autres que celles qui ciblent l'holothurie. Il existe également des incertitudes quant à la connectivité entre les secteurs nord-ouest et sud-est du banc de Saint-Pierre.

L'interprétation des tendances des indicateurs de l'état du stock sur toute la série chronologique est limitée en raison de la plasticité physique de cette espèce et des écarts importants dans les années de données. Depuis la fin de la nouvelle pêche en 2008, il n'y a eu que trois relevés de l'holothurie sur le banc de Saint-Pierre, et aucun ne couvrait à la fois le secteur sud-est et le secteur nord-ouest. Il est nécessaire d'accroître la fréquence et la couverture des relevés pour surveiller les tendances de ce stock.

Il n'existe actuellement aucun point de référence établi permettant de déterminer l'état du stock par rapport à un cadre fondé sur l'approche de précaution. Les données sur la pêche (débarquements et CPUE de la pêche commerciale) et les données des relevés (CPUE, indices de la biomasse et de l'abondance, indice du taux d'exploitation et mesures biométriques) sont utilisées comme indicateurs de l'état du stock; cependant, les niveaux durables sont inconnus. Les indices dérivés des relevés actuels peuvent être comparés aux niveaux « d'avant la pêche commerciale », représentés par les estimations moyennes de la nouvelle pêche (de 2004 à 2008). Les indices ne représentent pas des valeurs absolues et ne doivent être utilisés que pour observer les tendances au fil du temps.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Anderson, S.C., Flemming, J.M., Watson, R., and Lotze, H.K. 2010. [Serial exploitation of global sea cucumber fisheries](#). *Fish Fish.* 12(3): 317–339.
- Anderson, S.C., Ward, E.J., English, P.A., and Barnett, L.A. 2022. [sdmTMB: an R package for fast, flexible, and user-friendly generalized linear mixed effects models with spatial and spatiotemporal random fields](#). *BioRxiv*.

-
- Bannerot, S.P., and Austin, C.B. 1983. [Using frequency distributions of catch per unit effort to measure fish-stock abundance](#). *Trans. Am. Fish. Soc.* 112(5): 608–617.
- Bradbury, A. 1994. Sea cucumber dive fishery in Washington State: an update. *SBC Beche-de-Mer Information Bulletin*. 6: 15–16.
- CAFID. 1997. Sea cucumber: A test fishery. DFO, St. John's, NL.
- Coady, L.W. 1973. [Aspects of the reproductive biology of *Cucumaria frondosa* \(Gunnerus, 1770\) and *Psolus fabricii* \(Düben and Koren, 1846\) \(Echinodermata: Holothuroidea\) in shallow waters of the Avalon Peninsula, Newfoundland](#). Masters Thesis. Memorial University of Newfoundland. St. John's, NL. 117 p.
- DFA. 2002. Fisheries Diversification Program: Sea Cucumber Surveys Conducted. Project Report FDP 358-4.
- DFO. 2008. Sea cucumber (*Cucumaria frondosa*) Emerging Fishery Division 3Ps, 2003-2008 [presentation].
- Francour, P. 1997. [Predation on holothurians: A literature review](#). *Invert. Biol.* 116(1): 52–60.
- Gianasi, B.L., Hamel, J.-F., Montgomery, E.M., Sun, J., and Mercier, A. 2021. [Current knowledge on the biology, ecology, and commercial exploitation of the sea cucumber *Cucumaria frondosa*](#). *Rev. Fish. Sci. and Aquacult.* 29(4): 582–653.
- Gianasi, B.L., Hamel, J.F., and Mercier, A. 2019. [Influence of environmental parameters on gametogenesis, spawning and embryo survival in the holothuroid *Cucumaria frondosa*](#). *Aquaculture*. 506(15): 308–319.
- Gianasi, B.L., Parrish, C.C., Hamel, J.F., and Mercier, A. 2017. [Influence of diet on growth, reproduction and lipid and fatty acid composition in the sea cucumber *Cucumaria frondosa*](#). *Aquacult. Res.* 48(7): 3413–3432.
- Gianasi, B.L., Verkaik, K., Hamel, J.F., and Mercier, A. 2015. [Novel use of PIT tags in sea cucumbers: Promising results with the commercial species *Cucumaria frondosa*](#). *PLOS ONE*. 10(5).
- Graham, E.R., and Thompson, J.T. 2009. [Deposit- and suspension-feeding sea cucumbers \(Echinodermata\) ingest plastic fragments](#). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 368(1): 22–29.
- Grant, S.M., Squire, L., and Keats, C. 2006. Biological resource assessment of orange footed cucumber (*Cucumaria frondosa*) occurring on the St. Pierre Bank. Centre for Sustainable Aquatic Resources, Fisheries and Marine Institute of Memorial University.
- Gudimova, E.N., Gudimov, A., and Collin, P. 2004. A study of the biology for fishery in two populations of *Cucumaria frondosa*: in the Barents Sea (Russia) and in the Gulf of Maine (USA). *In*: T. Heinzeller and J. H. Nebelsick (Eds.), *Echinoderms*: Munchen. Taylor and Francis Group.
- Hamel, J.-F., and Mercier, A. 1995. Spawning of the sea cucumber *Cucumaria frondosa* in the St Lawrence Estuary, eastern Canada. *SPC Beche-de-Mer Information Bulletin*. 7: 12–18.
- Hamel, J.-F., and Mercier, A. 1996a. [Early development, settlement, growth, and spatial distribution of the sea cucumber *Cucumaria frondosa* \(Echinodermata: Holothuroidea\)](#). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53(2): 253–271.
- Hamel, J.-F., and Mercier, A. 1996b. Gonad morphology and gametogenesis of the sea cucumber *Cucumaria frondosa*. *SPC Beche-de-Mer Information Bulletin*. 8: 22–33.
-

-
- Hamel, J.-F., and Mercier, A. 2008. Precautionary management of *Cucumaria frondosa* in Newfoundland and Labrador, Canada. In: V. Toral-Granda, A. Lovatelli, and M. Vasconcellos (Eds.), *Sea Cucumbers: A Global Review of Fisheries and Trade* (pp. 293–306). FAO Fisheries and Aquaculture.
- Hamel, J.-F., Sun, J., Gianasi, B.L., Montgomery, E.M., Kenchington, E.L., Burel, B., Rowe, S., Winger, P.D., and Mercier, A. 2019. [Active buoyancy adjustment increases dispersal potential in benthic marine animals](#). *J. Anim. Ecol.* 88(6): 820–832.
- Hamel, J.-F., and Mercier, A. 2009. Population status, fisheries and trade of sea cucumbers in temperate areas of the Northern Hemisphere Precautionary management of *Cucumaria frondosa* in Newfoundland and Labrador, Canada. *Environ. Sci.*
- Hand, C.M., Hajas, W., Duprey, N., Lochead, J., Deault, J., and Caldwell, J. 2008. [An evaluation of fishery and research data collected during the Phase 1 sea cucumber fishery in British Columbia, 1998-2007](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2008/065. x + 115 p.
- Harley, S.J., Myers, R.A., and Dunn, A. 2001. [Is catch-per-unit-effort proportional to abundance?](#) *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58(9): 1760–1772.
- Hopcroft, R.R., Ward, B., and Roff, J.C. 1985. [The relative significance of body surface and cloacal respiration in *Psolus fabricii* \(Holothuroidea: Dendrochirotida\)](#). *Can. J. Zool.* 63(12).
- ICES. 2022. Benchmark workshop on *Pandalus* stocks (WKPRAWN). ICES Scientific Reports.
- Jordan, A.J. 1974. On the ecology and behavior of *Cucumaria frondosa* (Echinodermata: Holothuroidea) at Lamoine Beach, Maine. *Dissertation Abstracts International. B. The Sciences and Engineering* 34(2): 632–633.
- Mercier, A., and Hamel, J.-F. 2010. [Synchronized breeding events in sympatric marine invertebrates: Role of behavior and fine temporal windows in maintaining reproductive isolation](#). *Behav. Ecol. and Sociobiol.* 64(11): 1749–1765.
- MI. 2005. Determining water-loss in sea cucumbers. Marine Institute, Memorial University of Newfoundland. Prepared for the DFA (Government of Newfoundland), project P 1453: 53 p.
- MI. 2006. Habitat utilization and density of the sea cucumber (*Cucumaria frondosa*) on St. Pierre Bank, Newfoundland: observations using a towed camera sled in 2004 and 2005. Marine Institute, Memorial University of Newfoundland. St. John's, NL, Canada. 16 p.
- Montgomery, E.M., Ferguson-Roberts, J.M., Gianasi, B.L., Hamel, J.-F., Kremenetskaia, A., and Mercier, A. 2018. [Functional significance and characterization of sexual dimorphism in holothuroids](#). *Invert. Reprod. and Develop.* 62(4): 191–201.
- MPO. 2009. [Évaluation de la ressource du concombre de mer \(*Cucumaria frondosa*\) sur le Banc de Saint-Pierre dans la sous-division 3Ps de l'OPANO](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis scientifique. 2009/044.
- NAFO. 2022. Report of the Scientific Council, 03 -16 June 2022, Halifax, Canada. NAFO SCS Doc. 22/18.
- Pantin, J.R., Coughlan, E.J., Hynick, E.M., and Skanes, K.R. 2018. [An Assessment of the Sea Cucumber \(*Cucumaria frondosa*\) Resource on the St. Pierre Bank \(NAFO Subdivision 3Ps\) in 2016](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2018/024. v + 23 p.
- Purcell, S.W., Mercier, A., Conand, C., Hamel, J.-F., Toral-Granda, M.V., Lovatelli, A., and Uthicke, S. 2013. [Sea cucumber fisheries: Global analysis of stocks, management measures and drivers of overfishing](#). *Fish Fish.* 14(1): 34–59.
-

-
- Purcell, S.W., Ngaluafe, P., Lalavanua, W., and Ceccarelli, D.M. 2018. [Market price trends of Latin American and Caribbean sea cucumbers inform fisheries management](#). Reg. Stud. Mar. Sci. 17: 127–132.
- Ross, D.A.N., Hamel, J.-F., and Mercier, A. 2013. [Bathymetric and interspecific variability in maternal reproductive investment and diet of eurybathic echinoderms](#). Deep Sea Res. Part II: Top. Stud. Oceanogr. 94(1): 333–342.
- Rue, H., Martino, S., Chopin, N. 2009. [Approximate Bayesian inference for latent Gaussian models by using integrated nested Laplace](#). J. Royal Statist. Soc. Ser. B Statist. Methodol. 7(2): 319–392.
- Rue, H., and Held, L. 2005. Gaussian Markov random fields: theory and applications. Chapman and Hall/CRC.
- Schroeter, S.C., Reed, D.C., Kushner, D.J., Estes, J.A., and Ono, D.S. 2001. [The use of marine reserves in evaluating the dive fishery for the warty sea cucumber \(*Parastichopus parvimensis*\) in California, U.S.A.](#) Can. J. Fish. Aquat. Sci. 58(9).
- Singh, R., MacDonald, B.A., Lawton, P., and Thomas, M.L.H. 1998. [Feeding response of the dendrochirote sea cucumber *Cucumaria frondosa* \(Echinodermata: Holothuroidea\) to changing food concentrations in the laboratory](#). Can. J. Zool. 76(10): 1842–1849.
- Singh, R., MacDonald, B.A., Thomas, M.L.H., and Lawton, P. 1999. [Patterns of seasonal and tidal feeding activity in the dendrochirote sea cucumber *Cucumaria frondosa* \(Echinodermata: Holothuroidea\) in the Bay of Fundy, Canada](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. 187: 133–145.
- Smith, S. J., and G. D. Somerton. 1981. STRAP: A user-oriented computer analysis system for groundfish research trawl survey data. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1030: iv + 66 p.
- So, J.J., Hamel, J.-F., and Mercier, A. 2010. [Habitat utilisation, growth and predation of *Cucumaria frondosa*: Implications for an emerging sea cucumber fishery](#). Fish. Manage. Ecol. 17(6): 473–484.
- So, J.J., Uthicke, S., Hamel, J.-F., and Mercier, A. 2011. [Genetic population structure in a commercial marine invertebrate with long-lived lecithotrophic larvae: *Cucumaria frondosa* \(Echinodermata: Holothuroidea\)](#). Marine Biol. 158(4): 859–870.
- Sun, J., Hamel, J.-F., and Mercier, A. 2018. [Influence of flow on locomotion, feeding behaviour and spatial distribution of a suspension-feeding sea cucumber](#). J. J. Exp. Biol. 221(20).
- Uthicke, S., Welch, D., and Benzie, J.A.H. 2004. [Slow growth and lack of recovery in overfished Holothurians on the Great Barrier Reef: Evidence from DNA fingerprints and repeated large-scale surveys](#). Conserv. Biol. 18(5): 1395–1404.
- Verkaik, K., Hamel, J.-F., and Mercier, A. 2016. [Carry-over effects of ocean acidification in a cold-water lecithotrophic holothuroid](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. 557: 189–206.
- Wein, E.E., Freeman, M.M.R., and Makus, J.C. 1996. [Use of and preference for traditional foods among the Belcher Island Inuit](#). Arctic. 49(3): 256–264.

ANNEXE I – FIGURES

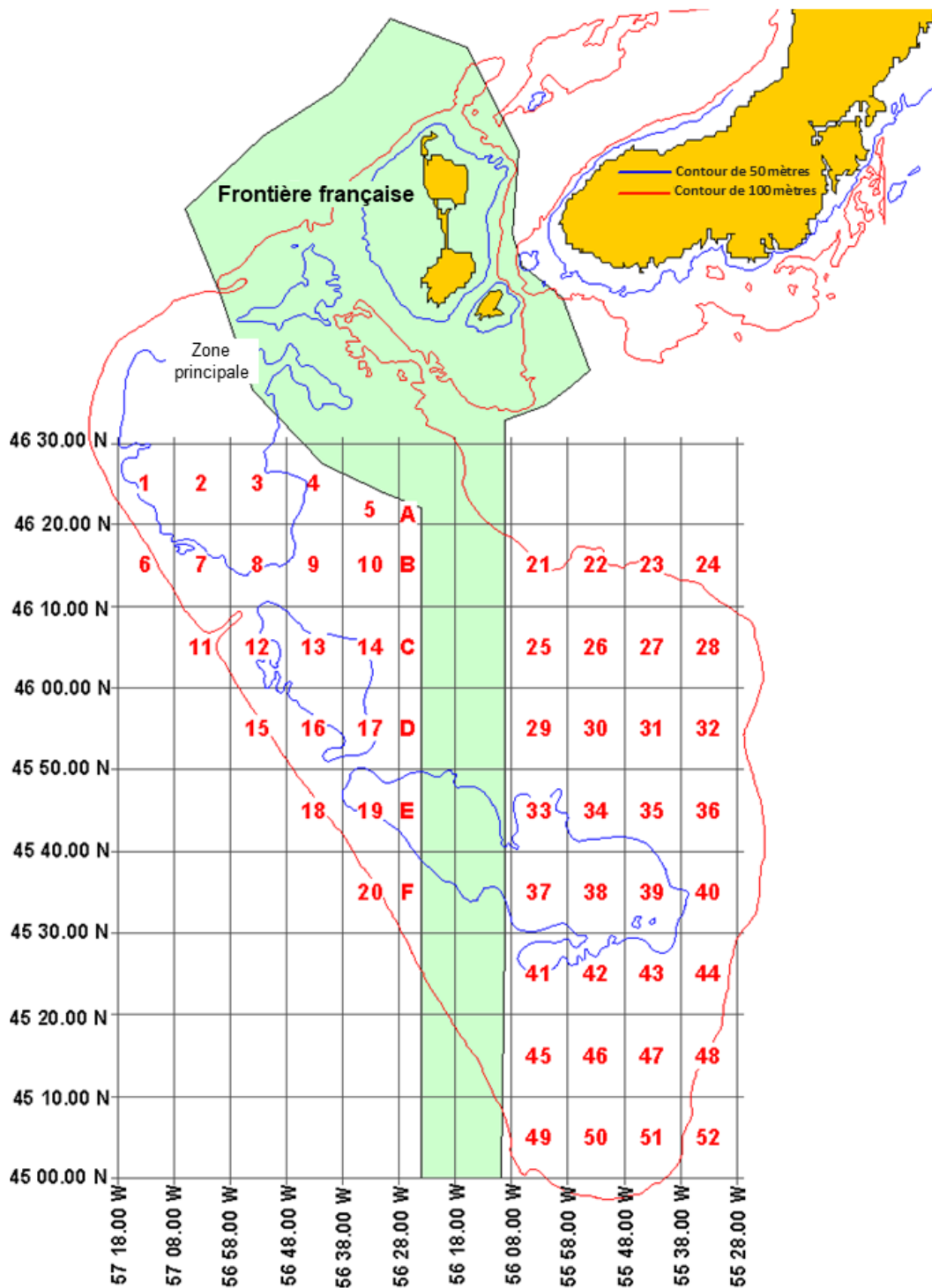


Figure 1. Carte de la zone de relevé initiale pour le relevé de la nouvelle pêche de l'holothurie sur le banc de Saint-Pierre. Les 52 strates sont divisées en deux secteurs, le « secteur nord-ouest » et le « secteur sud-est » par la limite de la zone d'exclusion économique française (en bleu sarcelle). Les courbes de niveau de 50 m sont indiquées en bleu et celles de 100 m en rouge. Il s'agit de l'une des cartes originales utilisées pour la nouvelle pêche (DFO 2008).

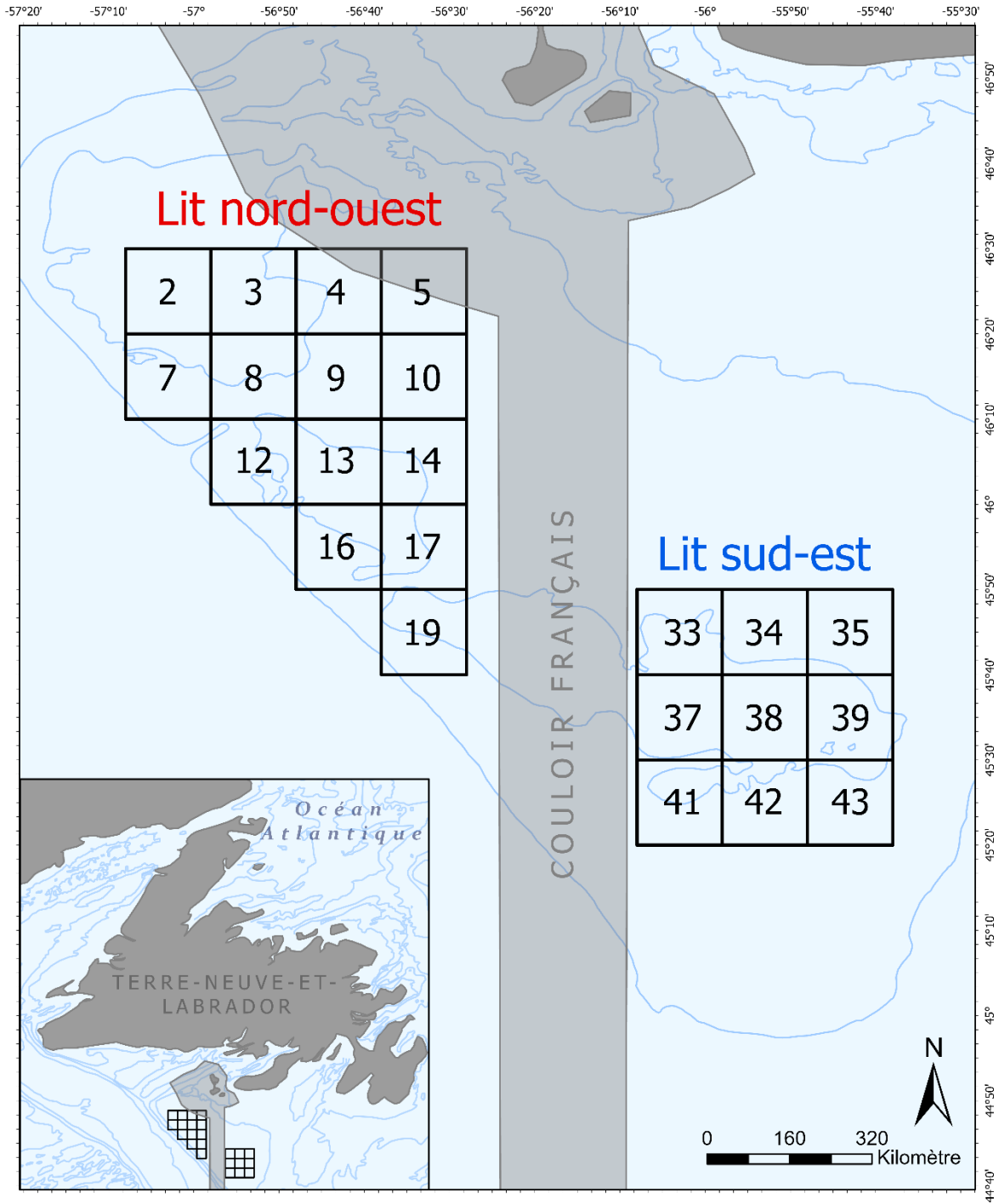


Figure 2. Carte des lieux de pêche actuels de l'holothurie sur le banc de Saint-Pierre, au large de Terre-Neuve (Canada). La zone a été réduite à ces 23 strates en 2006. Le secteur nord-ouest est constitué des strates 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 19 et le secteur sud-est, des strates 33, 34, 35, 37, 38, 39, 41, 42, 43. Ces strates sont utilisées pour la pêche de l'holothurie et pour les relevés de l'espèce. La superficie des strates 4 et 5 est réduite en raison du chevauchement avec la zone d'exclusion économique française. Les courbes de niveau sont celles de 50 m et de 100 m. L'image en médaillon montre la zone de relevé par rapport à l'île de Terre-Neuve, avec les courbes de niveau en bleu espacées de 100 m.

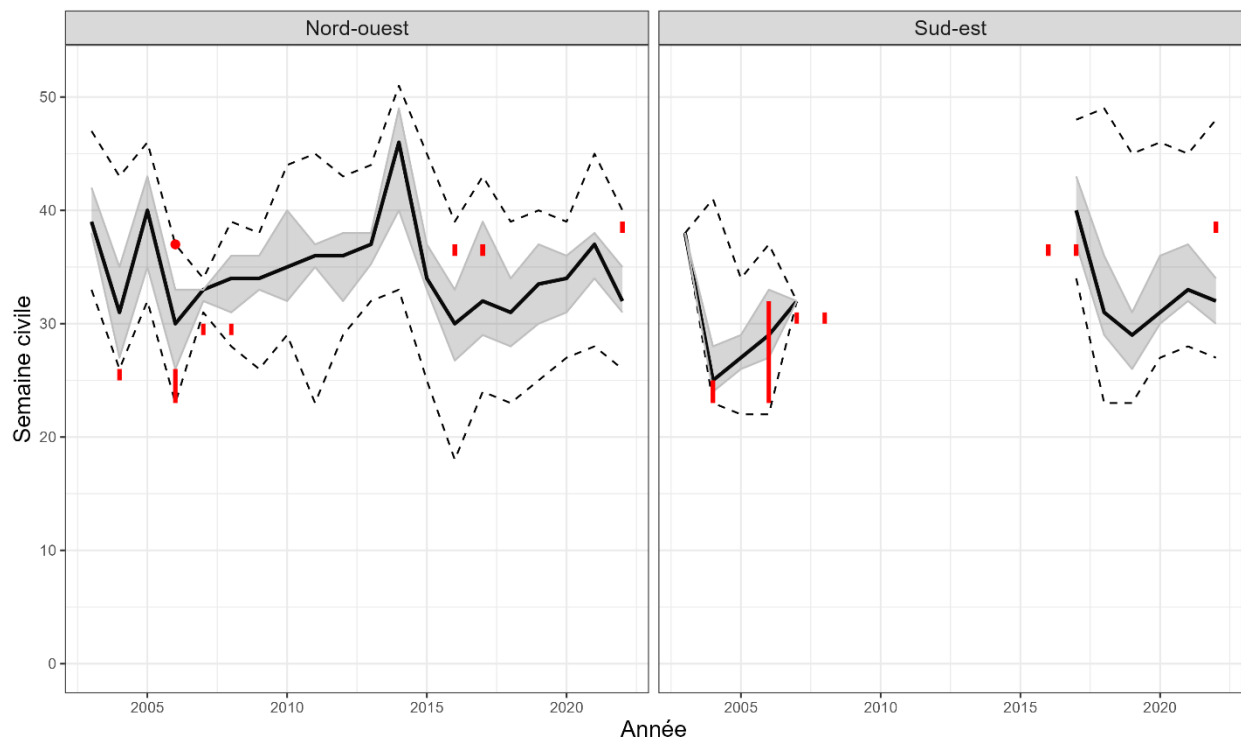


Figure 3. Période de la pêche de l'holothurie (*Cucumaria frondosa*) dans les secteurs nord-ouest et sud-est du banc de Saint-Pierre (division d'évaluation 3Ps) depuis le début de la nouvelle pêche (2003) jusqu'à aujourd'hui. La ligne pleine noire représente la semaine de pêche médiane, la zone grisée indique les 1^{er} et 3^e quartiles et les lignes tiretées illustrent la première et la dernière activité de pêche documentée pour l'année. Les lignes rouges indiquent les semaines pendant lesquelles les nouvelles pêches (de 2004 à 2008) et les relevés du MPO (2016, 2017 et 2022) ont eu lieu.

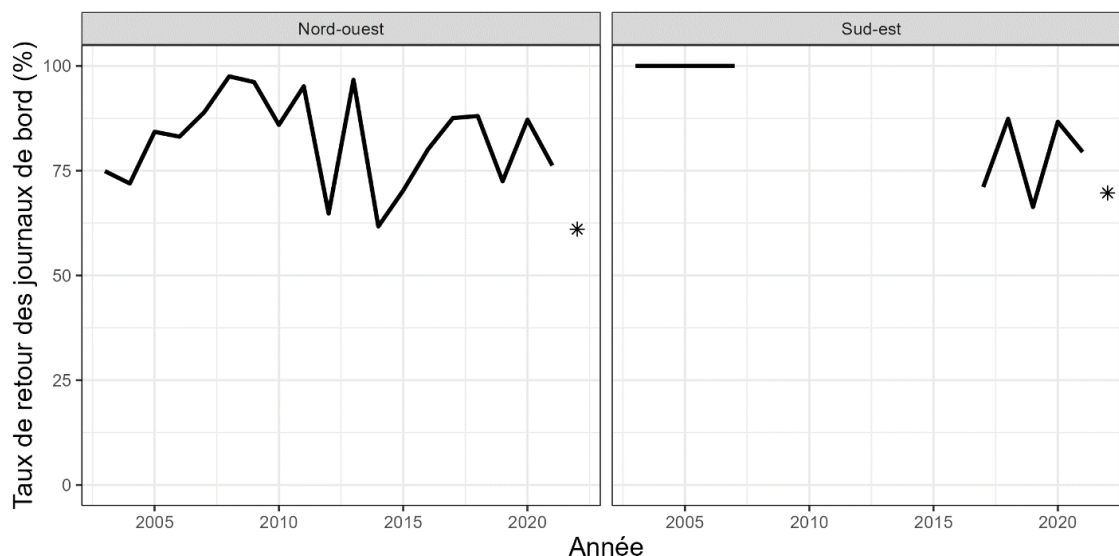


Figure 4. Taux de retour annuel des journaux de bord de la pêche à l'holothurie (*Cucumaria frondosa*) pour les secteurs nord-ouest et sud-est du banc de Saint-Pierre (division d'évaluation 3Ps) depuis le début de la nouvelle pêche en 2003. Le taux de retour des journaux de bord a été calculé en tant que pourcentage du total des débarquements figurant dans les journaux de bord soumis. Les données des journaux de bord de 2022 sont préliminaires et ont été mises à jour pour la dernière fois en février 2023.

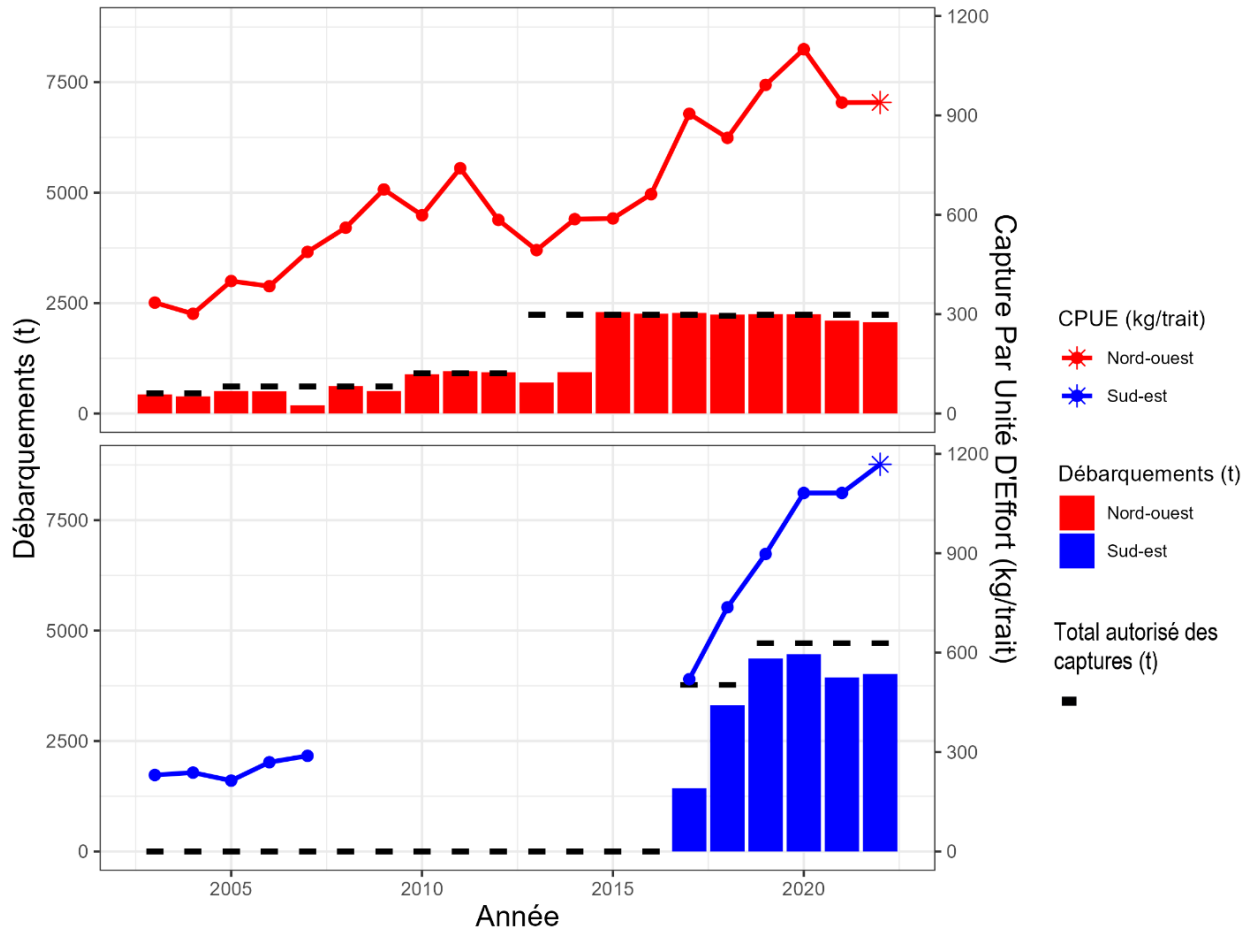


Figure 5. Débarquements (barres), capture par unité d'effort (CPUE; lignes) et total autorisé des captures (tirets noirs) d'holothurie (*Cucumaria frondosa*) dans les secteurs nord-ouest (en haut) et sud-est (en bas) sur le banc de Saint-Pierre depuis le début de la nouvelle pêche jusqu'à aujourd'hui (de 2003 à 2022). Les données des journaux de bord de 2022 sont préliminaires et ont été mises à jour pour la dernière fois en février 2023.

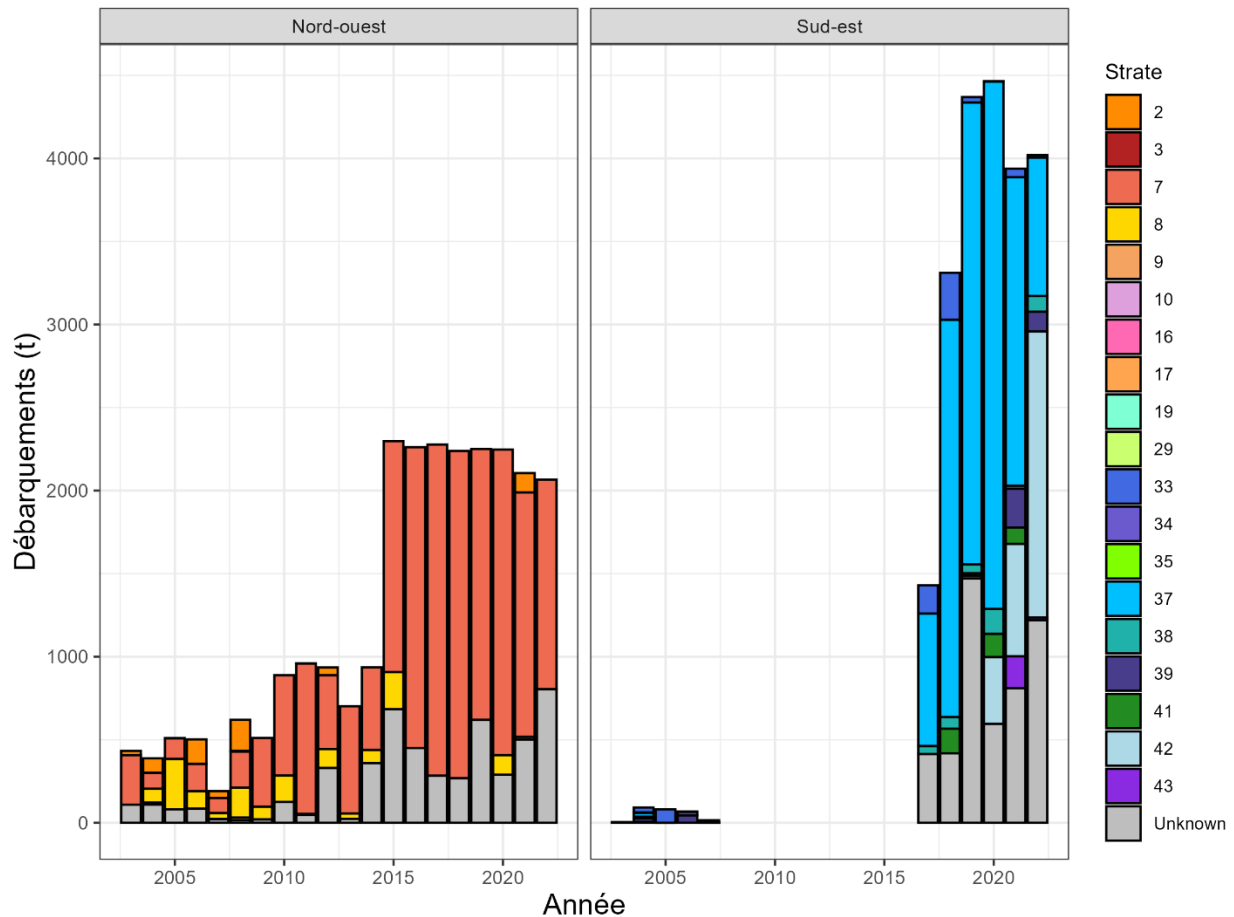


Figure 6. Débarquements d'holothurie (*Cucumaria frondosa*), par strate, dans les secteurs nord-ouest (à gauche) et sud-est (à droite) sur le banc de Saint-Pierre depuis le début de la nouvelle pêche jusqu'à aujourd'hui (de 2003 à 2022). Les strates inconnues sont fondées sur la différence entre le total des débarquements déclarés et les débarquements représentés par les journaux de bord soumis. Les données des journaux de bord de 2022 sont préliminaires et ont été mises à jour pour la dernière fois en février 2023.

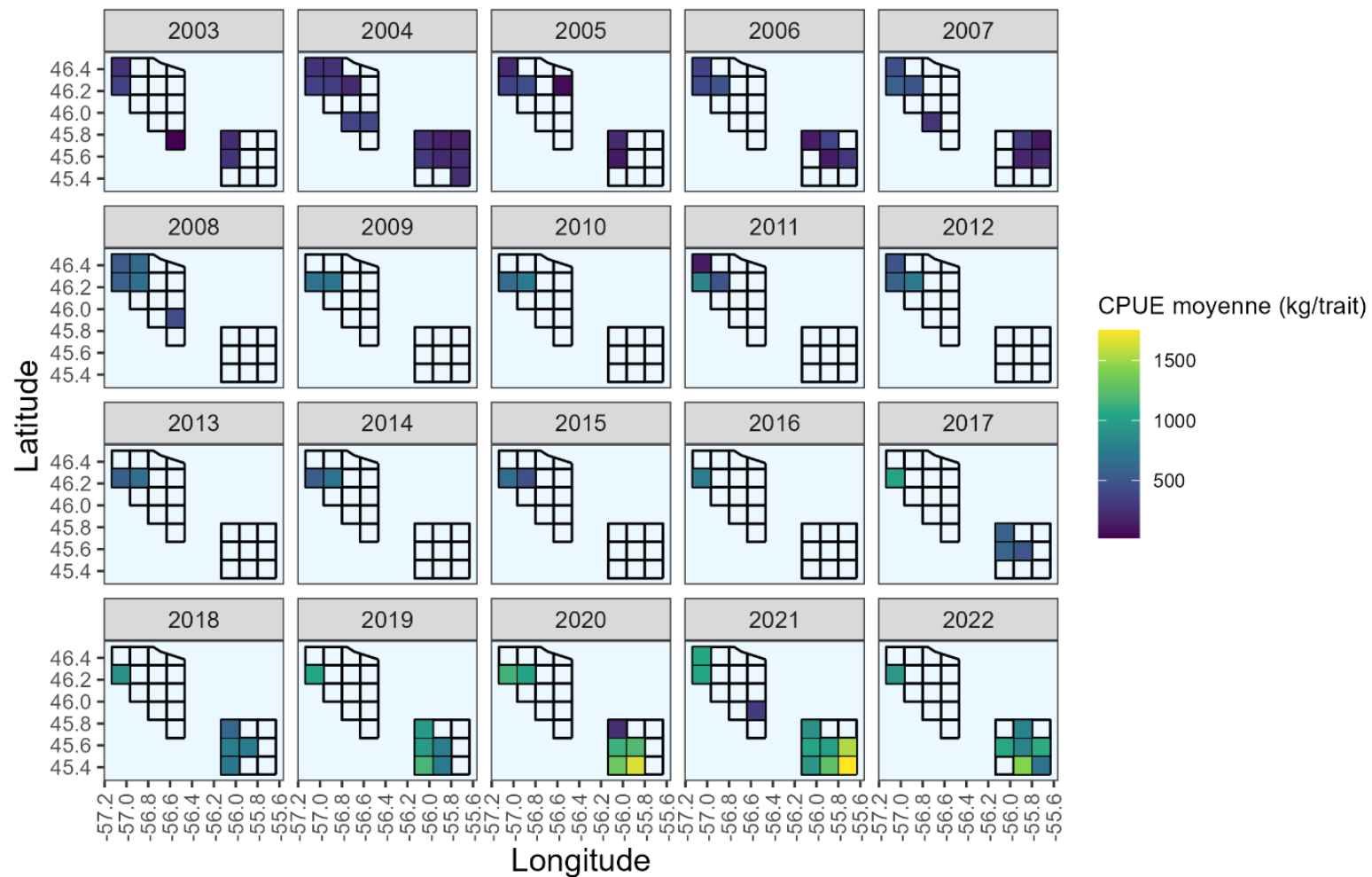


Figure 7. Carte thermique de la capture par unité d'effort (CPUE; kg/trait) pour la pêche de l'holothurie (*Cucumaria frondosa*) dans les secteurs nord-ouest et sud-est du banc de Saint-Pierre (division d'évaluation 3Ps). Les données sur la nouvelle pêche (de 2003 à 2008) ont été normalisées à 0,5 mille marin. Les données trait par trait n'étaient plus accessibles après la fin de la nouvelle pêche et, par conséquent, les données de 2009 à 2022 ne sont pas normalisées.

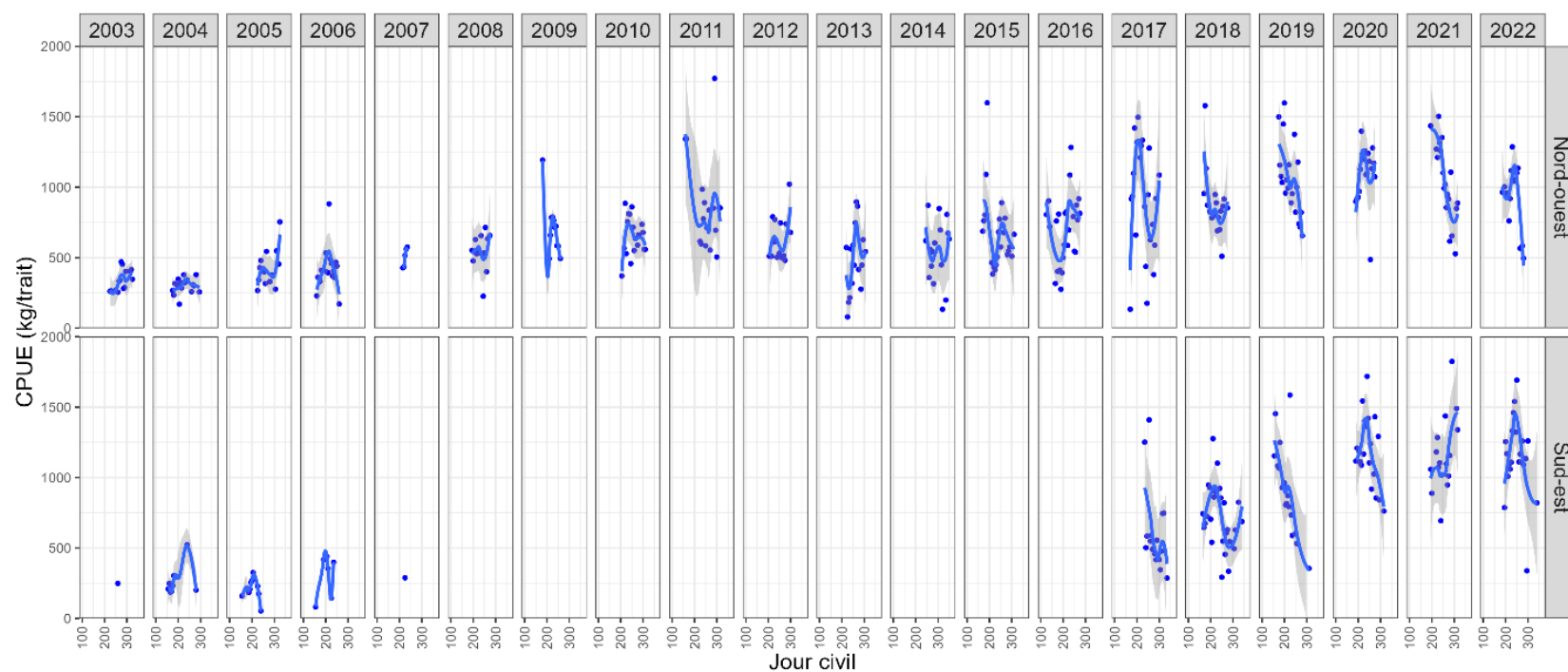


Figure 8. Capture par unité d'effort (CPUE; kg/trait) sur la saison pour la pêche de l'holothurie (*Cucumaria frondosa*) dans les secteurs nord-ouest (en haut) et sud-est (en bas) du banc de Saint-Pierre depuis le début de la nouvelle pêche. Les points bleus sont les moyennes sur cinq jours de la CPUE. Les lignes bleues sont les courbes de tendance avec application d'un lissage de Loess et les zones grisées sont les intervalles de confiance à 95 % correspondants.

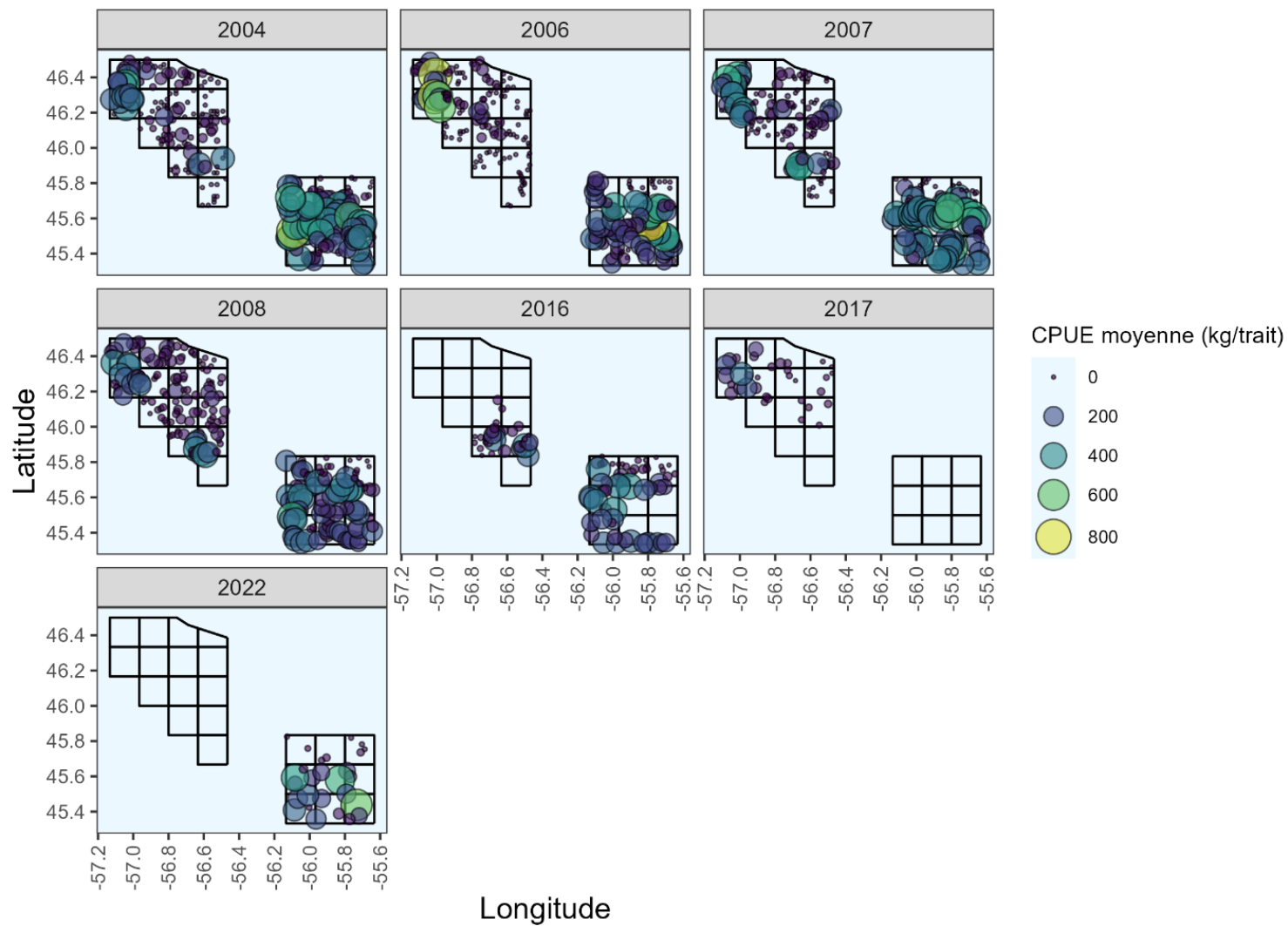


Figure 9. Cartes des taux de prise (kg/trait) d'holothurie (*Cucumaria frondosa*) sur le banc de Saint-Pierre pour la nouvelle pêche (de 2004 à 2008) et les relevés du MPO (2016, 2017, 2022). Les points sont les calées des relevés, une taille plus grande et une couleur plus claire représentant une augmentation des taux de prise.

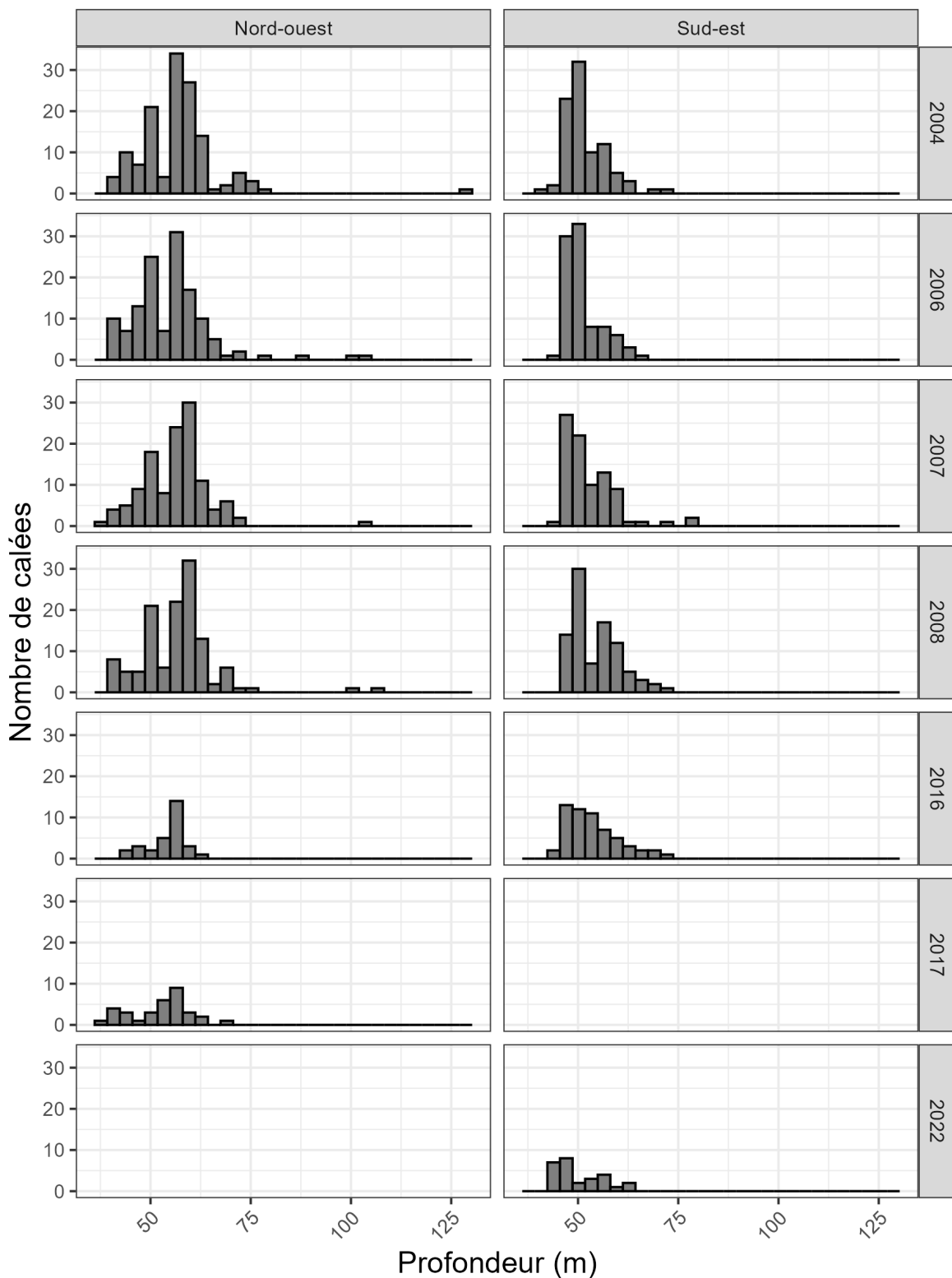


Figure 10. Couverture en profondeur des calées des relevés effectués dans les secteurs nord-ouest (à gauche) et sud-est (à droite) sur le banc de Saint-Pierre pendant les relevés du MPO. Les calées des relevés de 2004 à 2008 sont tirées des données sur la nouvelle pêche et celles des relevés de 2016 à 2022 sont extraites des relevés du MPO.

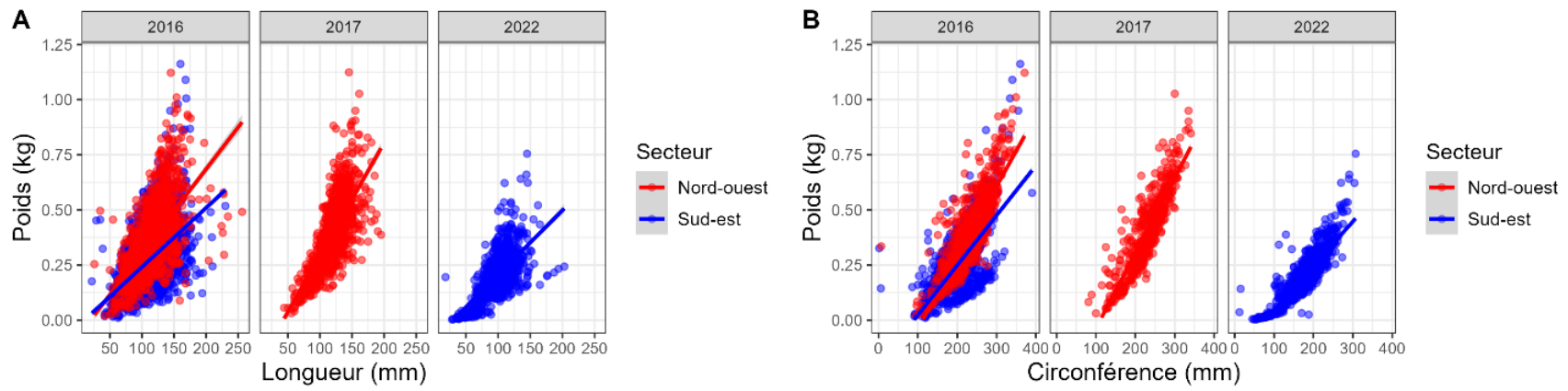


Figure 11. a) Relations longueur-poids et (b) circonférence-poids ajustées pour l'holothurie (*Cucumaria frondosa*) dans les secteurs nord-ouest et sud-est sur le banc de Saint-Pierre. Les données ont été tirées des relevés du MPO de 2016, 2017 et 2022.

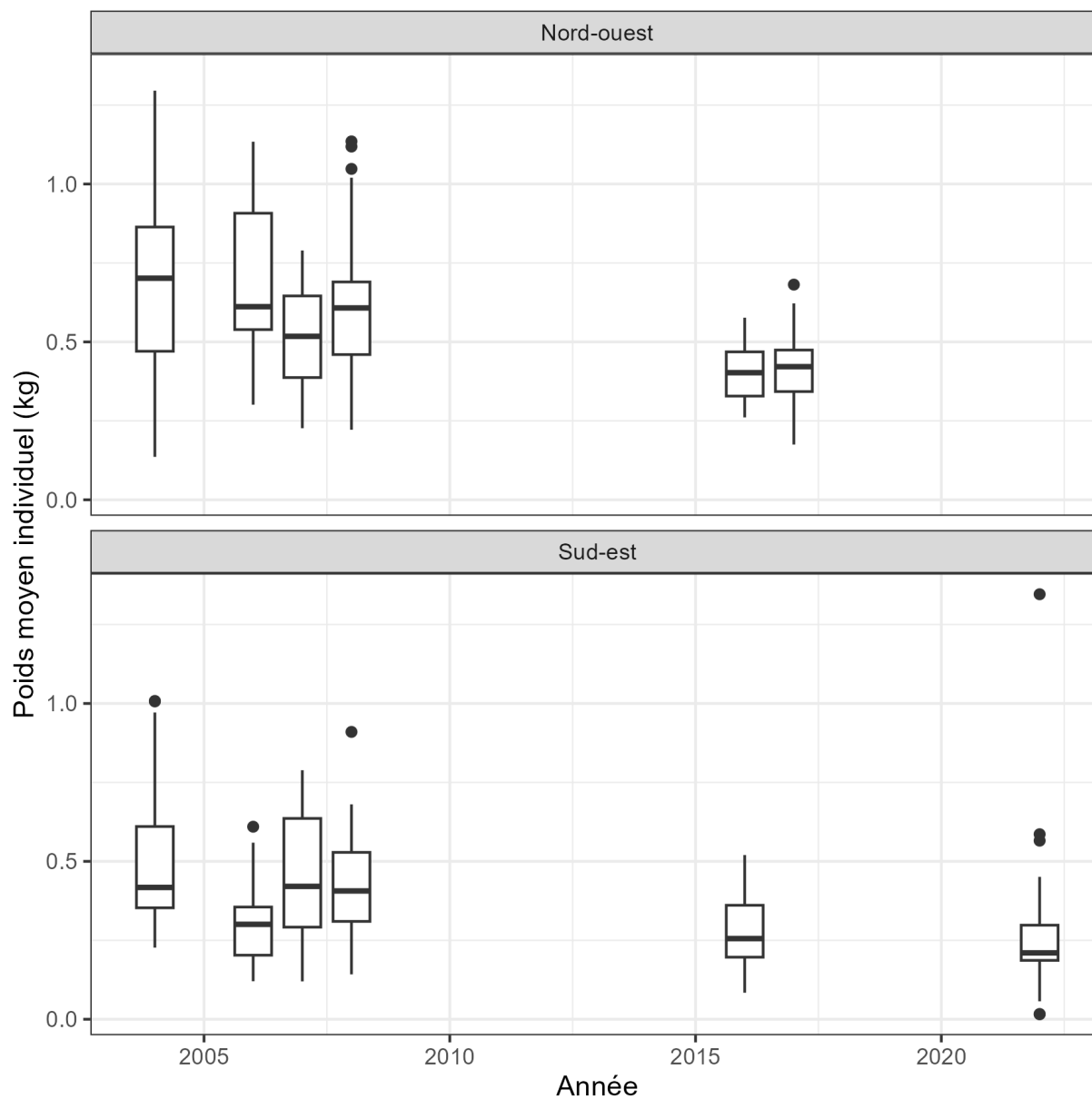


Figure 12. Poids moyen des holothuries (*Cucumaria frondosa*) dans les secteurs nord-ouest (en haut) et sud-est (en bas) sur le banc de Saint-Pierre. Le poids moyen a été estimé à partir des données de la nouvelle pêche et du relevé du MPO en divisant le poids total des holothuries dans chaque trait par le nombre total d'holothuries dans ce trait.

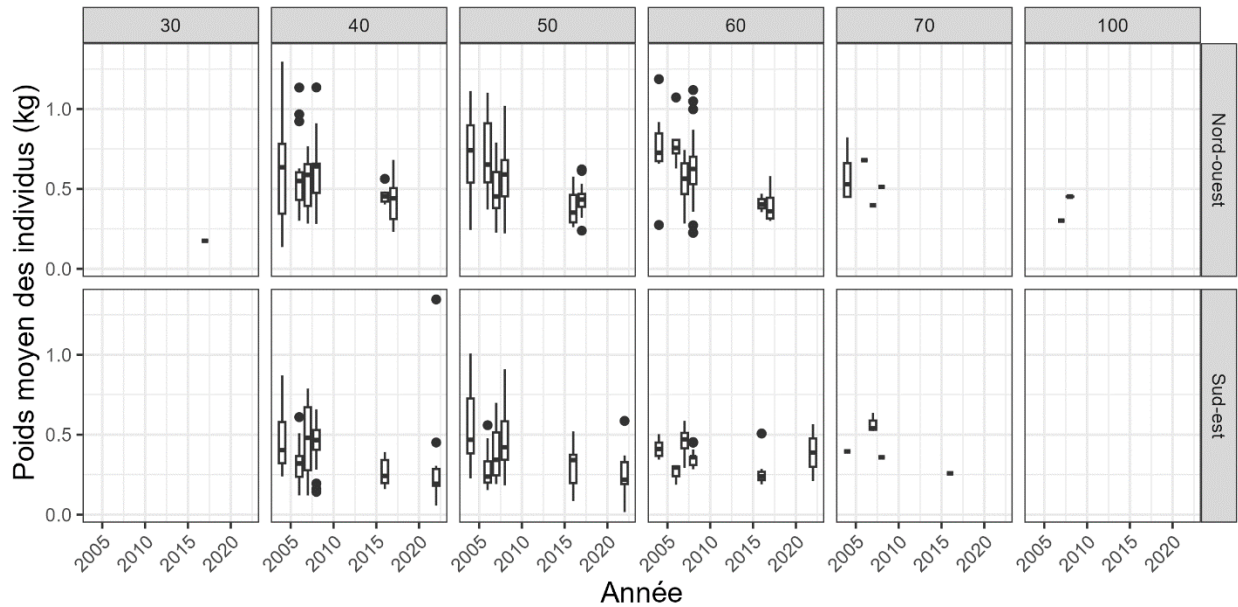


Figure 13. Poids moyen des holothuries (*Cucumaria frondosa*) dans les secteurs nord-ouest (en haut) et sud-est (en bas) sur le banc de Saint-Pierre, par profondeur (m). Le poids moyen a été estimé à partir des données de la nouvelle pêche et du relevé du MPO en divisant le poids total des holothuries dans chaque trait par le nombre total d'holothuries dans ce trait. Les profondeurs étaient classées par tranches de 10 m (p. ex. de 30 m à 39 m).

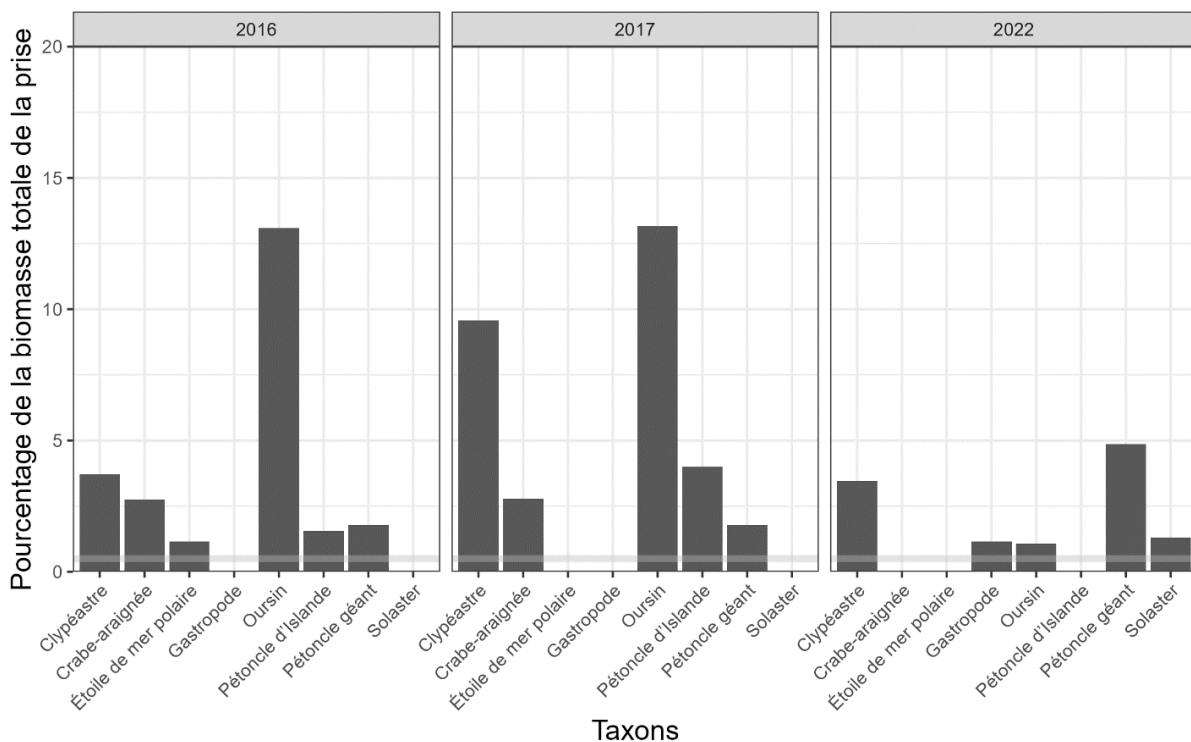


Figure 14. Pourcentage de la biomasse totale de la prise, en poids des principales espèces autres que l'holothurie (« autres ») capturées pendant le relevé de l'holothurie (*Cucumaria frondosa*) effectué en 2022 par le MPO dans le secteur sud-est du banc de Saint-Pierre. Seules les espèces qui représentaient plus de 1 % (ligne gris clair) de la biomasse totale de la prise sont affichées.

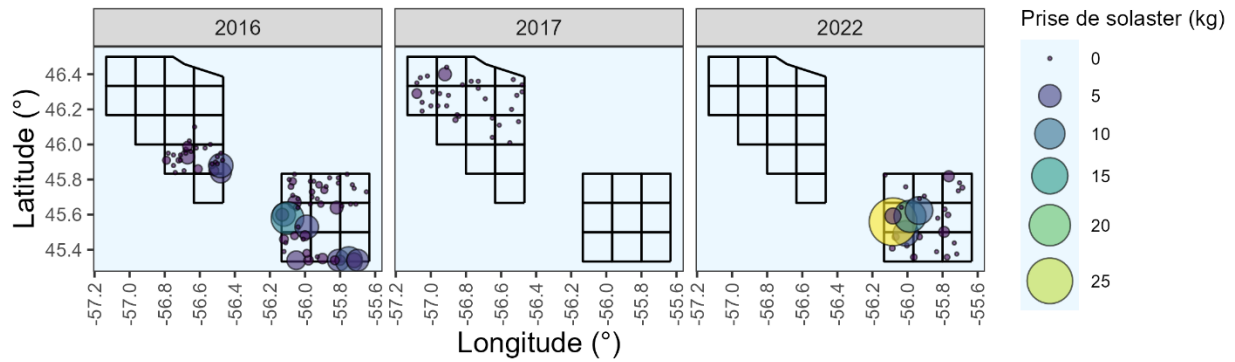


Figure 15. Cartes des taux de prise (kg/trait) de *Solaster Endeca* dans les secteurs de pêche de l'holothurie (*Cucumaria frondosa*) sur le banc de Saint-Pierre. Les données ont été recueillies pendant les relevés du MPO (2016, 2017, 2022). Les points sont les calées des relevés, une taille plus grande et une couleur plus claire représentant une augmentation des taux de prise de *S. Endeca*.

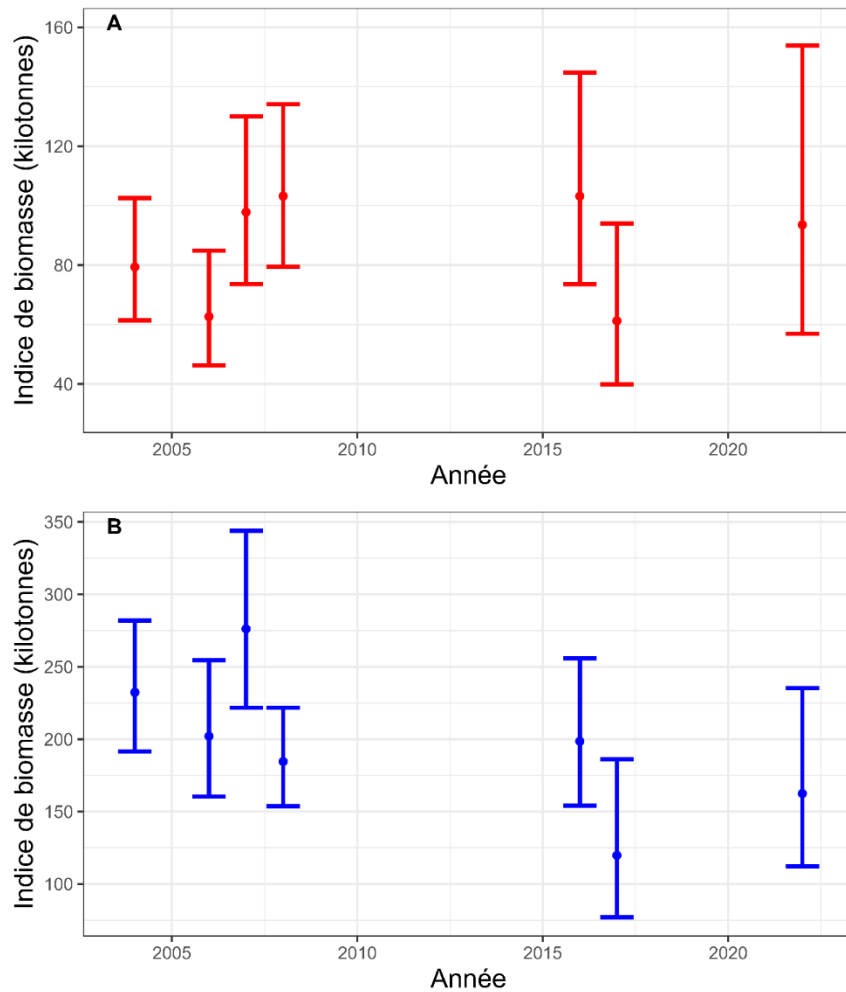


Figure 16. Indices de la biomasse pour l'holothurie (*Cucumaria frondosa*) dans les secteurs nord-ouest (A) et sud-est (B) sur le banc de Saint-Pierre, obtenus à l'aide du modèle *sdmTMB*. Les barres représentent les intervalles de confiance à 95 %.

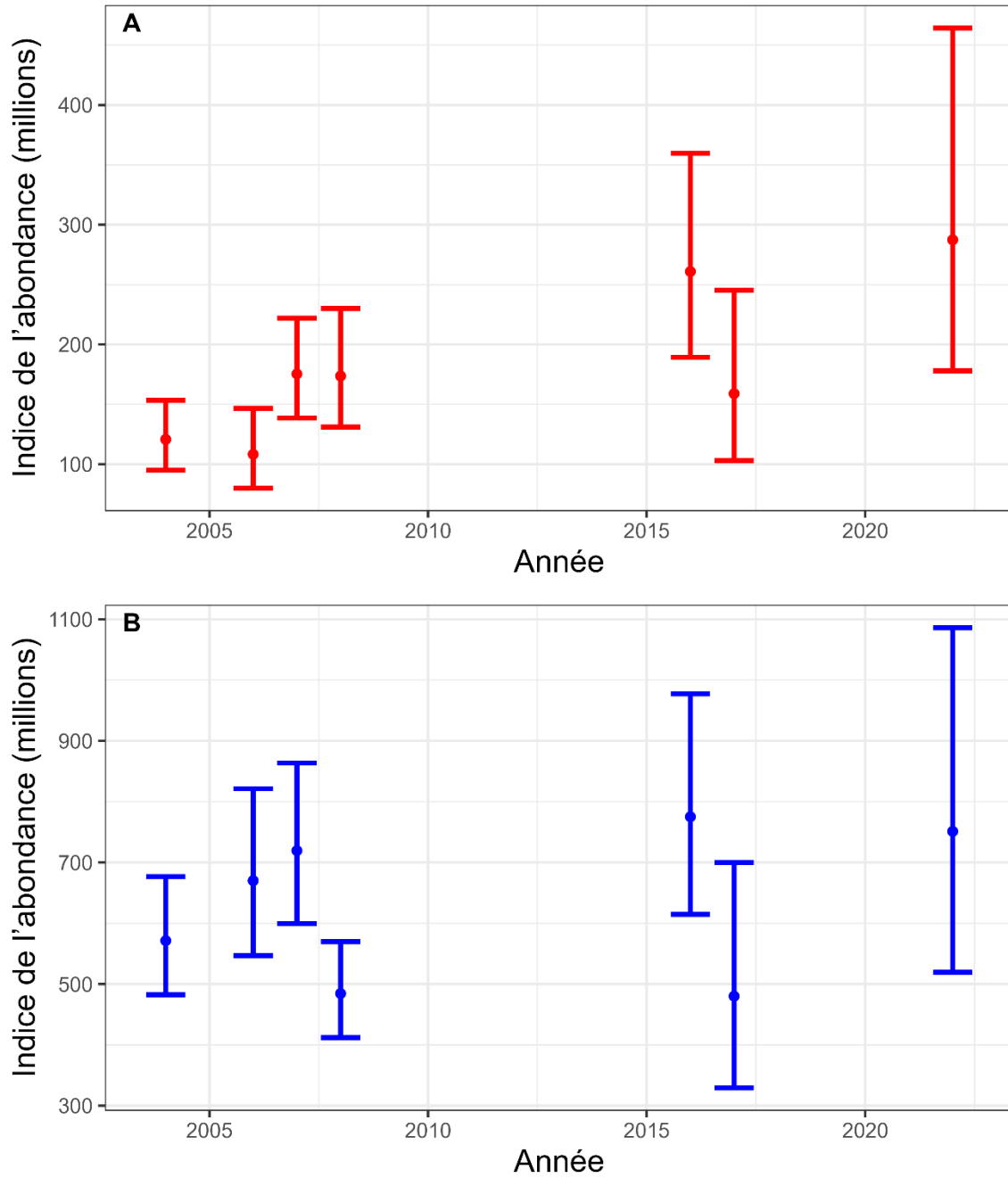


Figure 17. Indices de l'abondance pour l'holothurie (*Cucumaria frondosa*) dans les secteurs nord-ouest (A) et sud-est (B) sur le banc de Saint-Pierre, obtenus à l'aide du modèle sdmTMB. Les barres représentent les intervalles de confiance à 95 %.

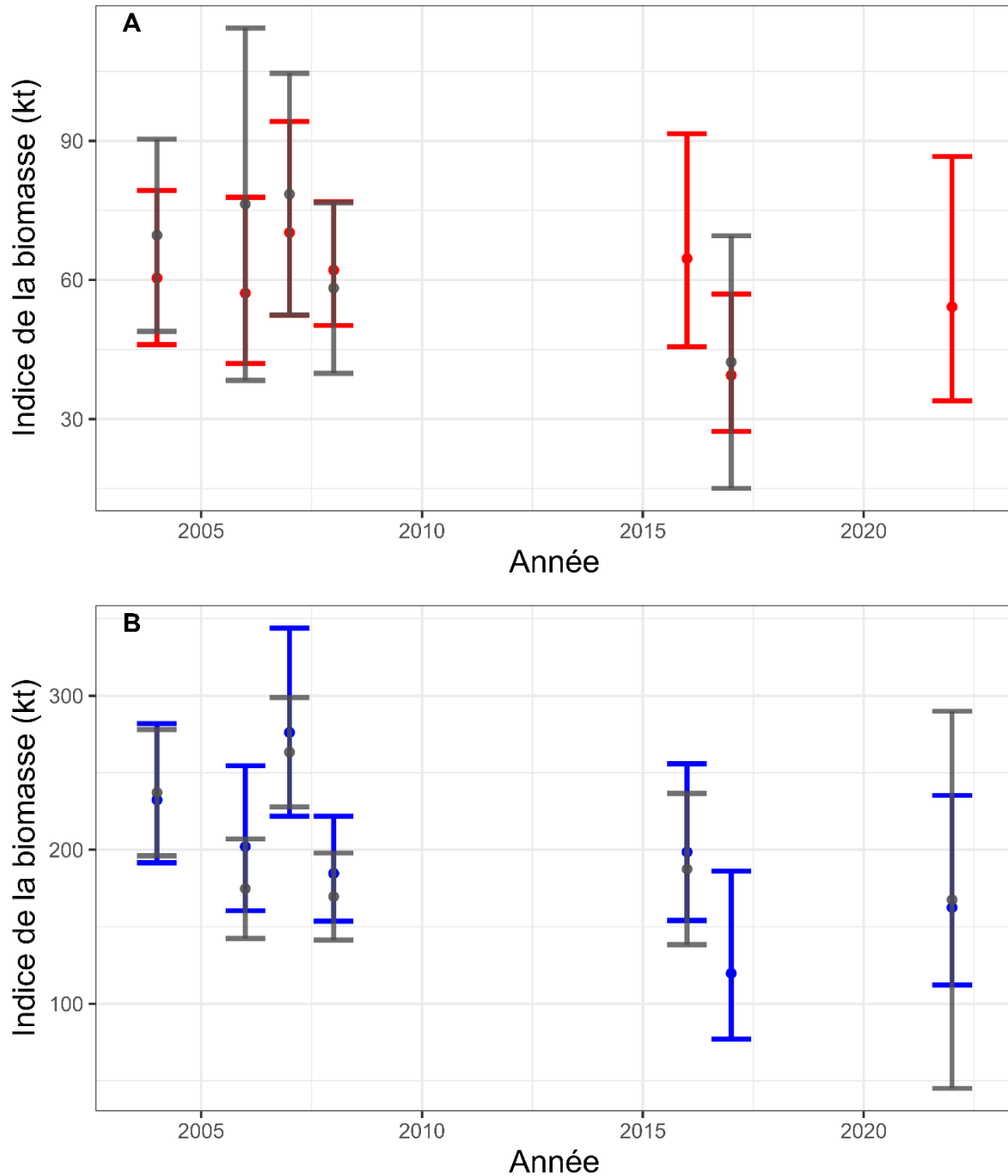


Figure 18. Indices de la biomasse d'après un sous-ensemble de strates échantillonnées toutes les années (secteur nord-ouest : strates 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14; secteur sud-est : strates 33, 34, 35, 37, 38, 39, 41, 42, 43) pour l'holothurie (*Cucumaria frondosa*) dans les secteurs nord-ouest et sud-est (B) sur le banc de Saint-Pierre. Les indices ont été calculés à l'aide d'un modèle sdmTMB (en bleu) et selon la méthode STRAP (en gris). Les barres représentent les intervalles de confiance à 95 %.

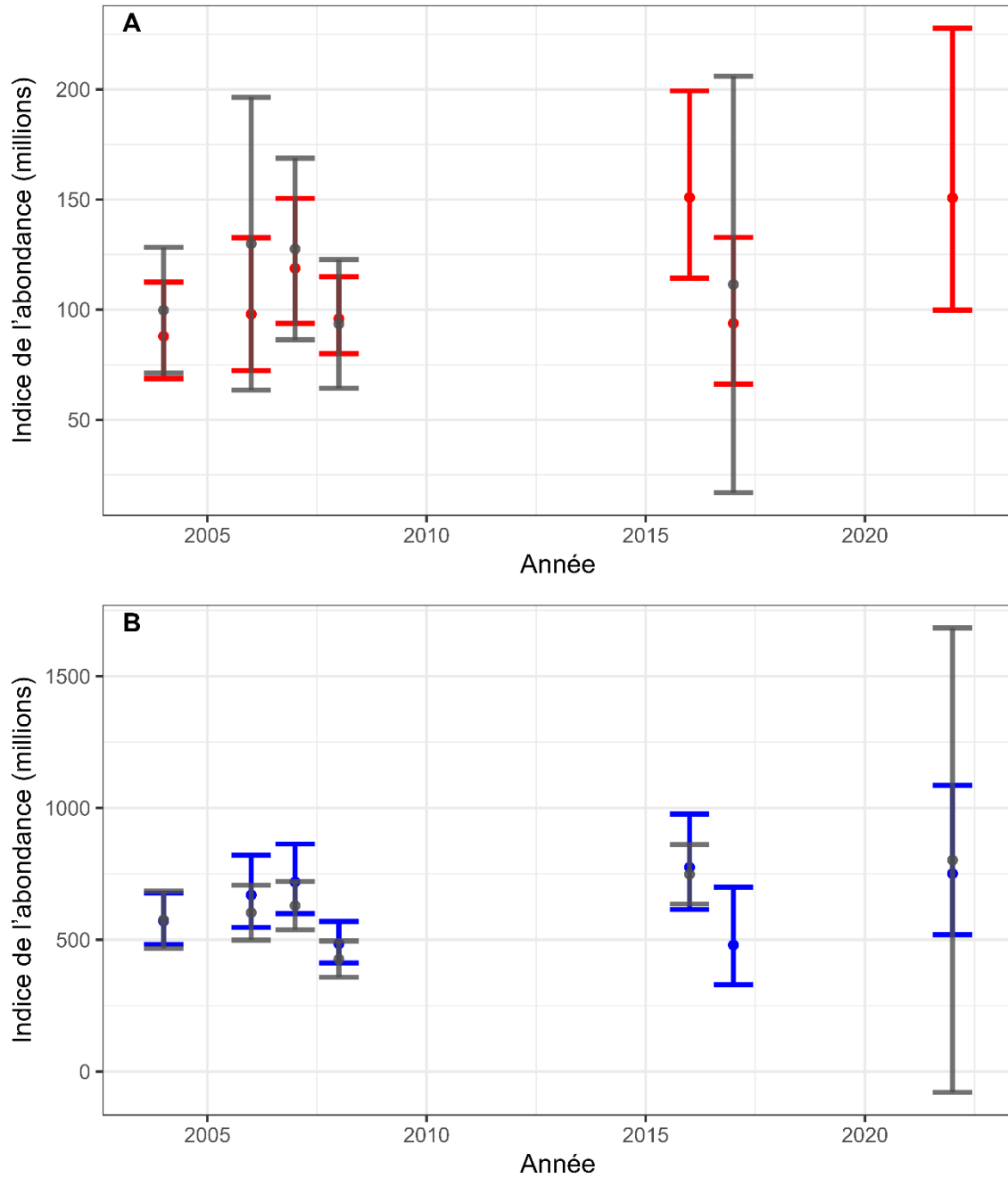


Figure 19. Indices de l'abondance d'après un sous-ensemble de strates échantillonnées toutes les années (secteur nord-ouest : strates 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14; secteur sud-est : strates 33, 34, 35, 37, 38, 39, 41, 42, 43) pour l'holothurie (*Cucumaria frondosa*) dans les secteurs nord-ouest et sud-est (B) sur le banc de Saint-Pierre. Les indices ont été calculés à l'aide d'un modèle sdmTMB (en bleu) et selon la méthode STRAP (en gris). Les barres représentent les intervalles de confiance à 95 %.

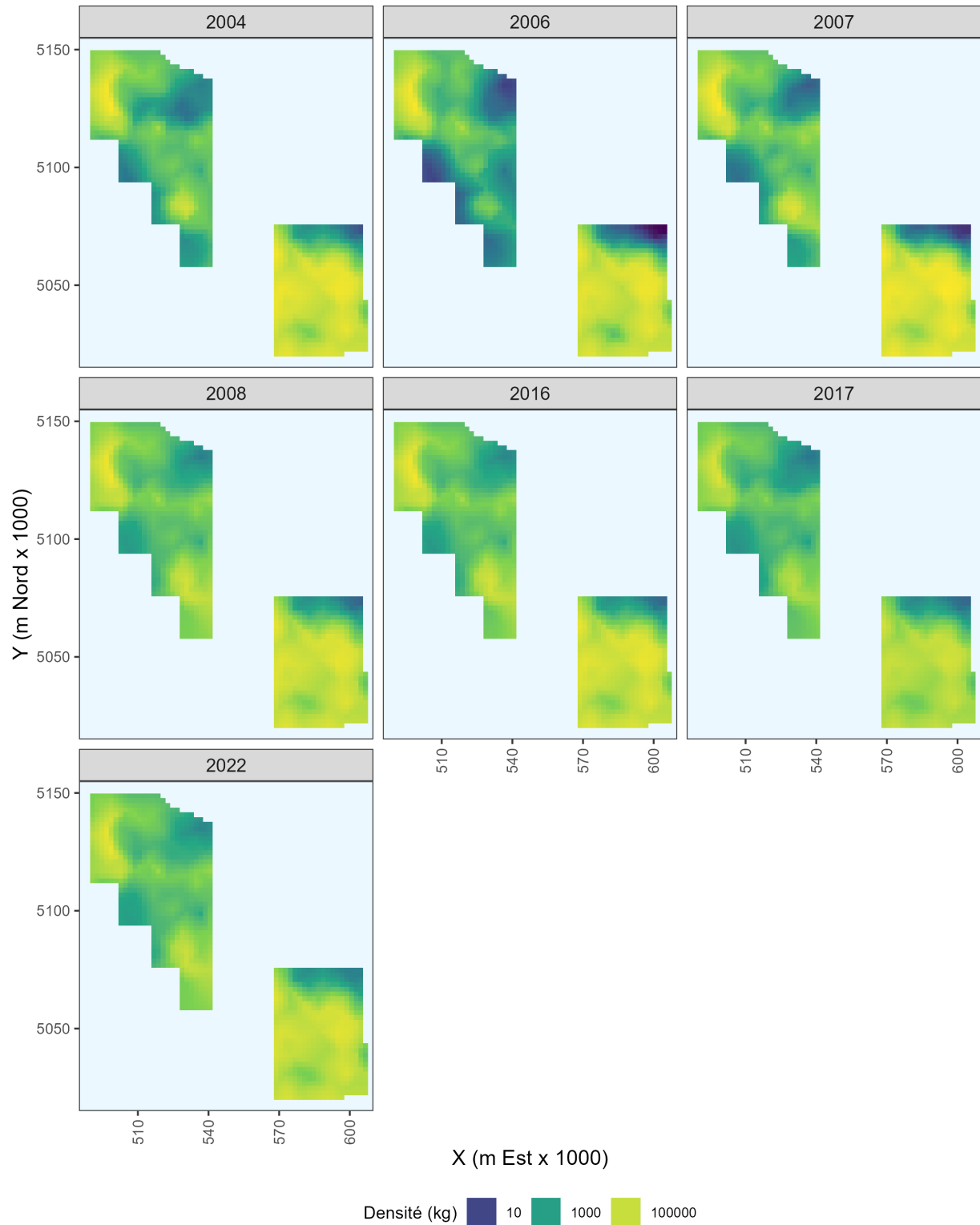


Figure 20. Cartes de la densité de la biomasse de l'holothurie (*Cucumaria frondosa*) prédite par un modèle pour les deux secteurs de pêche sur le banc de Saint-Pierre. Les coordonnées sont dans la zone 21N de l'UTM. La densité est prévue sur une grille de 4 km².

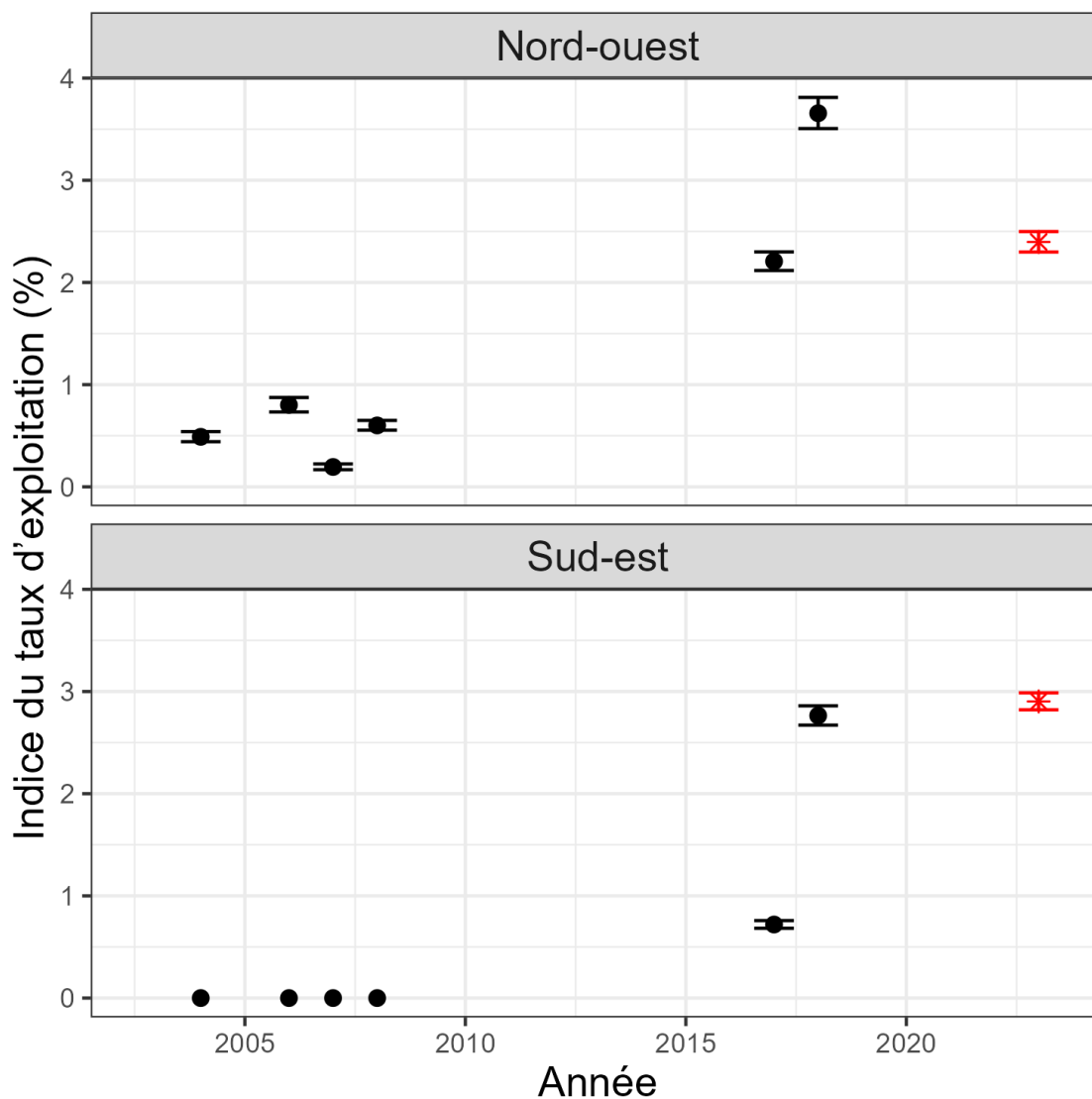


Figure 21. Indices du taux d'exploitation de l'holothurie (*Cucumaria frondosa*) dans les secteurs nord-ouest (en haut) et sud-est (au fond) sur le banc de Saint-Pierre depuis le début de la nouvelle pêche jusqu'à aujourd'hui (de 2003 à 2022). Ces indices ont été calculés à l'aide du rapport entre les débarquements et les estimations de la biomasse tirées du modèle sdmTMB. Les indices après la nouvelle pêche (2008) ont été calculés, les débarquements étant décalés d'un an par rapport à l'estimation de la biomasse. L'indice de 2023 (en rouge) est fondé sur un TAC inchangé.