



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2024/061

Région du Québec

Conception et méthodologie analytique du relevé acoustique d'été du hareng (*Clupea harengus*) dans les divisions OPANO 4RSw (2019-2023)

Shani Rousseau et Kim Émond

Institut Maurice-Lamontagne
Pêches et Océans Canada
850, route de la Mer
Mont-Joli, Québec
G5H 3Z4

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



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

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-73533-7 N° cat. Fs70-5/2024-061F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Rousseau, S. et Émond, K. 2024. Conception et méthodologie analytique du relevé acoustique d'été du hareng (*Clupea harengus*) dans les divisions OPANO 4RSw (2019-2023). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2024/061. iv + 31 p.

Also available in English :

Rousseau, S. and Émond, K. 2024. Design and Analytical Methodology for the Atlantic Herring (*Clupea harengus*) Summer Acoustic Survey in NAFO Divisions 4RSw (2019-2023). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2024/061. iv + 30 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	iv
1. INTRODUCTION	1
2. MÉTHODES.....	2
2.1. CONCEPTION DU RELEVÉ HYDROACOUSTIQUE ET ACQUISITION DES DONNÉES	2
2.2. ÉCHANTILLONNAGE BIOLOGIQUE	3
2.3. ANALYSE DES DONNÉES ACOUSTIQUES	3
2.4. CLASSIFICATION ACOUSTIQUE DU HARENG	4
2.4.1. Élimination des cibles acoustiques autres que les poissons.....	4
2.4.2. Sélection des poissons à vessie natatoire	5
2.4.3. Sélection du hareng	5
2.5. ESTIMATION DE LA DENSITÉ MOYENNE DE LA BIOMASSE DU HARENG PAR GROUPE REPRODUCTEUR	6
3. RÉSULTATS ET DISCUSSION	7
3.1. ANALYSE COMPARATIVE.....	7
3.2. SÉRIE DE RELEVÉS D'ÉTÉ.....	9
4. CONCLUSION	9
5. REMERCIEMENTS	10
6. RÉFÉRENCES CITÉES	11
7. TABLEAUX	13
8. FIGURES	21

RÉSUMÉ

Depuis 1991, des relevés hydroacoustiques sont effectués à l'automne dans les divisions 4RSw de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO) afin d'évaluer la biomasse des stocks reproducteurs de printemps et d'automne du hareng de l'Atlantique (*Clupea harengus*). En 2019, un relevé hydroacoustique d'été a été ajouté, suivant l'hypothèse que cela permettrait de couvrir mieux et de façon plus systématique l'abondance totale du hareng dans la zone. Le relevé hydroacoustique d'automne a été interrompu en 2022, le relevé d'été devenant ainsi la principale source d'intrants indépendants de la pêche pour l'évaluation des stocks de hareng. La mise en œuvre du relevé hydroacoustique d'été a été accompagnée de plusieurs changements à la méthodologie et à la conception du relevé, y compris l'ajout de strates dans la partie nord du relevé et la standardisation et l'automatisation du protocole analytique. Compte tenu des changements importants apportés à la méthodologie, ainsi qu'à la couverture et au calendrier des relevés, il est peu probable que le relevé hydroacoustique d'été soit directement comparable aux relevés hydroacoustiques d'automne. Sur le plan de la méthodologie, la méthode de différenciation entre les poissons avec et sans vessie natatoire est responsable de la différence la plus importante entre les deux approches, la nouvelle méthode donnant lieu à une augmentation générale du coefficient de rétrodiffusion de surface (s_a), un indicateur de l'abondance des poissons. Nous concluons que la méthode mise à jour améliore l'efficacité, la fiabilité et la reproductibilité des estimations de la biomasse du hareng par rapport à la méthode précédente appliquée aux relevés hydroacoustiques d'automne.

1. INTRODUCTION

Le hareng de l'Atlantique (*Clupea harengus*) est une espèce de poisson fourrage présente dans les eaux de l'Atlantique Nord. Il effectue des migrations annuelles associées à la fraie, à l'alimentation et à l'hivernage, et retourne aux mêmes sites chaque année. Dans le nord du golfe du Saint-Laurent, le hareng de l'Atlantique occupe des eaux peu profondes au large de la côte du Labrador et dans le détroit de Belle Isle pendant les mois d'été, et les eaux plus profondes au large pendant l'hiver (McQuinn et Lefebvre 1995).

Depuis 1991, un relevé hydroacoustique effectué sur la côte ouest de Terre-Neuve à l'automne est la principale source de données indépendantes de la pêche pour les évaluations des stocks de hareng de l'Atlantique dans les divisions 4RSw de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO) (Émond *et al.* 2024). Une première série temporelle effectuée de 1991 à 2002 (Beaulieu *et al.* 2010; McQuinn et Lefebvre 1999) a produit des modèles d'abondance relative à l'âge qui correspondaient de façon générale à une attrition et à une capturabilité stationnaire pour les cohortes individuelles. Une deuxième série de relevés a été effectuée entre 2009 et 2022 (Émond *et al.* 2024); toutefois cette série présente des tendances incohérentes d'abondance à l'âge, sous-tendant des problèmes avec les méthodes d'analyse ou avec la capturabilité et la couverture des relevés (Chamberland *et al.* 2022). Ces incohérences ont mené au rejet du cadre d'analyse de la population lors de la réunion d'examen par les pairs de novembre 2020 (MPO 2021). Une tentative a été effectuée pour corriger et standardiser les méthodes d'analyse de la série temporelle 2009-2022 (Beaudry-Sylvestre *et al.* 2024); toutefois, certaines incohérences ont persisté.

Dans le but d'améliorer la représentativité de l'indice du relevé hydroacoustique, un relevé a été implémenté en 2019 pendant la saison estivale, suivant l'hypothèse que cette période permettrait de couvrir de façon plus adéquate et systématique l'abondance totale du hareng dans la zone du relevé (Chamberland *et al.* 2022). Deux strates ont été ajoutées dans le détroit de Belle Isle (BI01 et BI02), pour tenir compte des mentions des pêcheurs d'une abondance très élevée du hareng dans cette région depuis au moins 2017 (Chamberland *et al.* 2022). La zone de l'OPANO adjacente 4Sw, faisant l'objet d'un relevé depuis 2009, a également été intégrée à la zone 4R suite à des indications suggérant d'importants déplacements de hareng entre ces deux zones (MPO 2024a).

Pour la série temporelle hydroacoustique d'été de 2019-2023, les méthodologies associées à l'échantillonnage biologique et à l'analyse des données acoustiques ont été mises à jour par rapport à celles utilisées pour la série temporelle hydroacoustique d'automne de 2009-2022 (Beaudry-Sylvestre *et al.* 2024). Ces modifications étaient nécessaires en partie en raison d'incompatibilités entre le logiciel d'analyse utilisé précédemment (CH2, Simard *et al.* 2000) et le logiciel d'acquisition de données nouvellement mis à jour (EK80, Kongsberg Maritime AS). La nouvelle méthode vise également à améliorer l'efficacité, l'objectivité, la reproductibilité et la précision grâce à l'introduction de processus automatisés. La méthode a été présentée lors de l'examen par les pairs du Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS) portant sur le Cadre d'évaluation pour les stocks de hareng de l'Atlantique (*Clupea harengus*) de la côte ouest de Terre-Neuve et de la Basse-Côte-Nord du Québec (divisions 4RSw de l'OPANO); cet exercice a eu lieu les 4 et 5 avril 2023 (MPO 2024a). Le relevé de l'automne 2022 a servi de base à une analyse comparative entre les méthodes utilisées pour l'automne 2009-2022 et la série temporelle de l'été 2019-2023. Cet ensemble de données a été choisi parce qu'il était le seul pour lequel les deux approches se chevauchaient.

Dans ce document, nous présentons la nouvelle méthodologie, l'analyse comparative et les résultats préliminaires des relevés hydroacoustiques d'été du hareng de l'Atlantique pour la

période de 2019 à 2023. Nous ne présentons pas d'estimations de l'abondance par groupe d'âge; ces résultats et leurs méthodes seront présentés dans un document ultérieur.

2. MÉTHODES

2.1. CONCEPTION DU RELEVÉ HYDROACOUSTIQUE ET ACQUISITION DES DONNÉES

Le relevé hydroacoustique d'été du hareng Atlantique est stratifié en 14 strates conçues pour tenir compte des principales caractéristiques physiques de l'habitat du hareng ainsi que de l'occurrence spatiale du hareng dans les relevés scientifiques passés et en cours, ainsi que les prises commerciales (figure 1). La stratification actuelle est fondée sur le modèle proposé par McQuinn et Lefebvre (1999) et a été élargie pour tenir compte de la présence du hareng dans les portions sud (BI01; 1 163 km²) et nord (BI02; 626,8 km²) du détroit de Belle Isle (BI), situé dans la zone unitaire 4Ra de l'OPANO (Chamberland *et al.* 2022). Le relevé comprend également le segment le plus à l'est de la Basse-Côte-Nord du Québec, dans la zone adjacente 4Sw de l'OPANO (strate 4Sw; 2 195 km²), qui a été fusionnée à la division 4R (Beaudry-Sylvestre *et al.* 2024). En 2023, la strate 4Sw a été subdivisée en deux strates (4Sw01 et 4Sw02) pour tenir compte de la différence considérable dans la biomasse estimée entre les parties est et ouest de la strate. Le relevé couvre maintenant une bathymétrie allant de 20 à 250 m.

Tous les relevés ont été effectués la nuit (entre 17 h et 7 h, heure de l'Atlantique) conformément aux cycles diurnes connus du hareng (McQuinn et Lefebvre 1999) afin d'accroître la probabilité que les poissons puissent être distingués du fond marin et ainsi de réduire au minimum l'incertitude associée à la zone acoustique aveugle (Mitson 1983). Le relevé suit un plan d'échantillonnage systématique stratifié, où les transects de chaque strate sont parallèles et orientés perpendiculairement à la côte, avec le premier transect placé au hasard à l'une ou l'autre extrémité de la strate et les transects suivants placés à égale distance les uns des autres. De 2019 à 2022, l'espacement entre les transects dans toutes les strates était de 5 ou 7,5 nm selon le temps de navire disponible. En 2023, une méthode alternative pour estimer le nombre optimal de transects par strate (n_s) a été utilisée, basée sur l'occupation spatiale du hareng dans les relevés précédents et un niveau de précision prédéfini (c.-à-d. coefficient de variation, CV), selon Robotham et Castillo (2009). Le coefficient de variation de chaque strate a été défini en fonction de la densité moyenne de hareng dans la strate ($CV = 0,75, 0,50$ et $0,25$ pour les strates à faible, moyenne et haute densité, respectivement).

Les navires utilisés pour chaque relevé étaient équipés d'un échosondeur à faisceau divisé SIMRAD EK60 (années de relevé : 2019-2020) ou EK80 (années de relevé : 2021-2023) monté sur la coque et fonctionnant jusqu'à cinq fréquences (38, 70, 120, 200 et 333 kHz). À noter que seules les fréquences de 38, 120 et 200 kHz ont été utilisées. Les transducteurs ont été calibrés avant chaque relevé selon la méthode standard des sphères de référence présentée dans Demer *et al.* (2015) pour l'enregistrement en temps réel des données. Les données ont été recueillies à une fréquence d'échantillonnage d'une (1) seconde. Une durée d'impulsion de 1,024 ms a été employée pour toutes les fréquences. Le tableau 1 présente un résumé des caractéristiques de chaque relevé. Des profils de conductivité, de température et de profondeur (CTP) ont été recueillis dans chaque strate et utilisés pour ajuster la vitesse du son et le coefficient d'absorption pendant la collecte de données pour cette strate.

2.2. ÉCHANTILLONNAGE BIOLOGIQUE

En 2023 et lors du relevé de l'automne 2022, un plan d'échantillonnage révisé a été appliqué au relevé au chalut pour le prélèvement d'échantillons biologiques (voir le tableau 2). L'objectif était de passer d'un échantillonnage ciblé (le bateau de pêche affrété choisissant l'emplacement du prélèvement d'échantillons) à un échantillonnage aléatoire, pour lequel le bateau de pêche a reçu un plan d'échantillonnage préétabli pour le prélèvement d'échantillons biologiques (voir la figure 2).

Les échantillons biologiques ont été prélevés dans la zone du relevé à la même période que les relevés hydroacoustiques. Toutefois, des contraintes logistiques ont empêché une correspondance directe entre la collecte de données acoustiques et biologiques. En plus des différentes limites de vitesse des navires, la disponibilité du temps de navire pour les relevés acoustiques s'élevait à trois semaines, tandis que l'échantillonnage biologique avait lieu sur une période de cinq à sept jours. Le bateau de pêche a suivi des transects diagonaux systématiques et a effectué un chalutage pélagique lors de la détection d'agrégations de poissons sur son échosondeur. La distance maximale entre les transects (c.-à-d. la distance entre l'extrémité des diagonales) a été fixée à 10 km et a été choisie comme distance minimale permettant au navire de couvrir toute la zone du relevé dans le temps imparti. Des points ont été définis le long des transects; une fois qu'un chalutage avait été effectué, le navire n'était pas autorisé à en effectuer un autre jusqu'à ce qu'il atteigne l'emplacement du point suivant, afin d'éviter de pêcher la même agrégation deux fois. Les points ont été déterminés à l'aide d'une fonction aléatoire avec une distance euclidienne minimale de 0,3 et un nombre maximal de points par strate de deux (2) à quatre (4) selon la superficie de la strate. Le bateau de pêche utilisait un chalut semi-pélagique *Pandalus* III, d'une superficie de 154 m² et d'un maillage de 50 mm dans le cul de chalut. Toutes les espèces de poissons ayant une vessie natatoire ont été identifiées et les prises totales par espèce ont été pesées. Un sous-échantillon (100 individus pour le hareng et le capelan, 30 individus pour toutes les autres espèces) de chaque espèce de poisson à vessie natatoire a été prélevé pour chaque chalutage, et chaque individu sous-échantillonné a été mesuré et pesé.

2.3. ANALYSE DES DONNÉES ACOUSTIQUES

Les données acoustiques ont été visualisées et traitées sous la forme de force de rétrodiffusion volumétrique (S_v , dB re 1 m⁻¹; un indicateur de la densité de poissons), qui représente l'intensité moyenne de rétrodiffusion par mètre cube, dans le domaine logarithmique :

$$S_v = 10 \log_{10}(s_v) \quad (1)$$

où

$$s_v = \frac{\sum \sigma_{bs}}{V} \quad (2)$$

Le terme s_v est le coefficient de rétrodiffusion volumétrique (m⁻¹), σ_{bs} est la section transversale de rétrodiffusion (m²) et V est le volume échantillonné (m³). Tous les symboles et toutes les unités suivent les conventions proposées par MacLennan *et al.* (2002).

Les analyses ont été menées dans Echoview 13 (Myriax Pty, Ltd., Hobart, Tasmanie, Australie) et le logiciel R pour le calcul statistique (version 4.0.2, R Core Team 2020) avec RStudio (version 1.3.1056, RStudio Team 2020). Le bruit sous forme d'impulsion a été retiré des échogrammes du S_v suivant la méthode décrite par Ryan *et al.* (2015). Les régions de bruit d'impulsion ont été remplacées par la moyenne des cellules environnantes. Le bruit de fond a été éliminé selon la méthode de De Robertis et Higginbottom (2007). Un ratio signal/bruit minimum de 10 dB et une cellule moyenne de 40 pings (un ping correspond à une impulsion

sonore individuelle) et 10 m verticaux ont été utilisés. Le bruit maximal décrit par De Robertis et Higginbottom (2007) a été déterminé empiriquement par des enregistrements acoustiques passifs de l'échosondeur.

Un signal acoustique atténué peut résulter de la présence de bulles d'air sous la coque et le transducteur. Les sections d'atténuation ont été retirées manuellement de l'analyse. Chaque échogramme a été visuellement examiné pour enlever le signal non désiré tel que les instruments dans l'eau ou le bruit qui n'a pas été enlevé avec succès par le protocole de nettoyage de données précédemment décrit.

Les données acoustiques au-dessus d'une profondeur correspondant à la profondeur du transducteur plus cinq (5) mètres ont été exclues de l'analyse. Une ligne de fond a été définie à l'aide de l'algorithme du meilleur candidat de fond marin d'Echoview avec un seuil minimum S_v de -70 dB et un seuil maximal de -50 dB. La zone acoustique aveugle, c.-à-d. la partie du faisceau acoustique sphérique où le hareng ne peut pas être détecté près du fond marin, a été estimée à l'aide d'Ona et Mitson (1996) :

$$h_{eq,y,s,i} = 2404 \cdot \frac{(d_i - td_y) \cdot \tan\left(\frac{\phi_y \cdot \pi}{180}\right)^4}{\phi_y^2} + \frac{c_s \tau}{4} + bs \quad (3)$$

où d est la profondeur du fond marin (m) pour chaque ping i ; td et ϕ sont la profondeur (m) et l'angle de demi-faisceau à 3 dB (°) du transducteur à 38 kHz pour le relevé y , respectivement; c est la vitesse du son ($m \cdot s^{-1}$) pour la strate s ; et τ et bs sont la durée de l'impulsion (s) et le pas-de-recul (m), respectivement. La valeur du pas-de-recul a été définie à 0,3 m tout au long de la série temporelle. La valeur du pas-de-recul a été choisie comme compromis pour augmenter la vitesse d'analyse tout en conservant autant de signal que possible près du fond marin. Le S_v dans la zone acoustique aveugle a été remplacée par le S_v moyen à un mètre au-dessus de la zone acoustique aveugle pour chaque ping individuel.

2.4. CLASSIFICATION ACOUSTIQUE DU HARENG

La classification des cibles de hareng dans les données acoustiques a été effectuée au moyen d'un processus en trois étapes. Tout d'abord, le signal correspondant aux poissons a été séparé de tous les autres échos plus faibles. Deuxièmement, le signal acoustique des poissons à vessie natatoire a été isolé. Troisièmement, le signal acoustique correspondant au hareng a été séparé du signal correspondant à toutes les autres espèces de poissons à vessie natatoire. Ces trois étapes contrastent avec la méthode utilisée pour la série temporelle du relevé d'automne de 2009-2022 (Beaudry-Sylvestre *et al.* 2024), où les poissons à vessie natatoire ont été sélectionnés avec une méthode de classification différente, et les cibles autres que le hareng ont été exclues manuellement par un examen minutieux par des experts.

2.4.1. Élimination des cibles acoustiques autres que les poissons

Une méthode multifréquence basée sur Fernandes (2009) a été utilisée pour sélectionner les agrégations de poissons et éliminer les cibles acoustiques faibles indésirables. Les données combinées pour chaque fréquence sont utilisées pour définir les limites des agrégations. Les cibles acoustiques de poissons présentent une amplitude acoustique forte et stable à travers les fréquences, par rapport à de nombreuses autres cibles acoustiques. En conséquence, la combinaison d'échogrammes de plusieurs fréquences amplifie le signal des poissons, tout en diminuant le signal des autres cibles. Cette méthode a été utilisée avec succès dans de nombreuses études (p. ex. Fallon *et al.* 2016; Korneliussen *et al.* 2016; Korneliussen 2018). Elle est efficace pour retenir les échos des poissons avec et sans vessie natatoire, y compris le

hareng, le capelan, le maquereau et le lançon. Les échogrammes de S_v ont été additionnés suivant $(3S_{v_{38}} + S_{v_{120}} + S_{v_{200}})/5$, où $S_{v_{38}}$, $S_{v_{120}}$ et $S_{v_{200}}$ sont la force de rétrodiffusion volumétrique (dB re 1 m⁻¹) à 38, 120 et 200 kHz, respectivement. Les échogrammes virtuels résultants ont été lissés au moyen d'une convolution gaussienne 2D avec un écart type de 1,0 et une fenêtre de trois échantillons verticaux et trois pings (équivalent à 0,55 m x 18,5 m). Une convolution gaussienne met un poids plus élevé sur le pixel central et met l'accent sur les bordures. Il s'agit d'un filtre passe-bas qui donne lieu à la suppression des pixels isolés. Un seuil de -70 dB a été appliqué sur l'échogramme résultant, suivi d'un filtre de dilatation 5x5 (équivalent à 0,92 m x 30,83 m). Cette dernière étape permet de conserver tous les éléments des agrégations, incluant les bordures. En conclusion, une image bitmap a été utilisée pour masquer les données de S_v originales à toutes les fréquences avec l'échogramme virtuel, c.-à-d. que toutes les valeurs vraies dans l'échogramme virtuel ont été remplacées par les valeurs de S_v d'origine, alors que toutes les valeurs fausses ont été exclues de l'échogramme.

2.4.2. Sélection des poissons à vessie natatoire

Un seuil de 0 dB a été appliqué à la différence entre les échogrammes de 38 et de 200 kHz ($S_{v_{200}} - S_{v_{38}}$) afin de séparer les poissons avec et sans vessie natatoire, suivant les résultats de plusieurs études selon lesquelles les poissons ayant une vessie natatoire comme le hareng et le capelan présentent un signal plus fort à 38 kHz tandis que les poissons sans vessie natatoire présentent un signal plus fort à 200 kHz (Gorska *et al.* 2004; Fernandes 2009; Korneliussen 2018). Une moyenne mobile (fenêtre : trois (3) échantillons verticaux par trois pings, équivalent à 0,55 m x 18,5 m), a été appliquée pour lisser les échogrammes avant de soustraire les fréquences. Un filtre de dilatation 5x5 a été appliqué pour conserver toutes les caractéristiques des regroupements, et une image bitmap a été appliquée pour masquer les données $S_{v_{38}}$ d'origine avec l'échogramme virtuel. Finalement, un seuil de -70 dB a été appliqué sur les échogrammes de $S_{v_{38}}$ masqués.

En 2020, un autre navire a été utilisé et la fréquence de 200 kHz n'était pas disponible. Ainsi, la méthode a été légèrement modifiée pour tenir compte de l'absence de cette fréquence. Tout d'abord, les échogrammes de S_v ont été additionnés suivant $(3S_{v_{38}} + S_{v_{120}})/4$. Deuxièmement, les poissons sans vessie natatoire ont été éliminés en appliquant un seuil de 5 dB sur la différence entre les échogrammes à 38 et 120 kHz ($S_{v_{120}} - S_{v_{38}}$) suivant McQuinn *et al.* 2015.

2.4.3. Sélection du hareng

Les données acoustiques au-dessus de 120 m de profondeur ont été exclues afin d'éliminer le signal correspondant au sébaste (*Sébastes* sp). La ségrégation entre l'habitat du hareng (< 120 m) et celui du sébaste (> 120 m) pendant les mois d'été dans la zone de relevé a été confirmée par les relevés d'échantillonnage biologique.

Le S_v résultant des étapes précédentes a été intégré sur la colonne d'eau à une valeur de coefficient de rétrodiffusion de surface (m² m⁻²) par transect t :

$$s_{a_{y,s,t}} = \int_{z_1}^{z_2} s_{v_{y,s,t}} dz \quad (4)$$

où z_1 est égal à 7,7 m et z_2 est égal à la profondeur du fond jusqu'à un maximum de 120 m. Pour séparer le hareng des autres poissons à vessie natatoire (morue et capelan, principalement) dans les données acoustiques, le signal acoustique a été classifié en fonction de la proportion (en biomasse) de chaque espèce trouvée dans les échantillons biologiques prélevés par le chalutier dans chaque strate. Lorsqu'aucun échantillon biologique n'était disponible pour une strate donnée, la composition des espèces associée aux échantillons de la

strate la plus proche a été utilisée (voir le tableau 3). Cette approche a été utilisée pour les relevés de l'automne 2022 et de l'été 2023, où des échantillons biologiques aléatoires étaient disponibles. Pour les relevés de l'été 2019 à 2022, l'exclusion des poissons à vessie natatoire autres que le hareng a été effectuée grâce à un examen minutieux par des experts.

La proportion du s_a correspondant au hareng dans le transect t a été estimée comme suit :

$$s_{ah_{y,s,t}} = \frac{w_{h_{y,s}} 10^{\frac{TS_h}{10}}}{\sum_j \left[w_{j_{y,s}} 10^{\frac{TS_j}{10}} \right]} s_{a_{y,s,t}} \quad (5)$$

où w est la proportion de hareng (h) ou de l'espèce de poisson à vessie natatoire (j) par rapport aux prises totales dans la strate s et TS est la force de cible ($TS = 10 \log_{10}(\sigma_{bs})$, dB re 1 m²). Les proportions des espèces ont été obtenues à partir des moyennes des données standardisées de la pêche au chalut pour chaque strate. Les tableaux 4 et 5 montrent les proportions d'espèces trouvées dans chaque strate pour les relevés de l'automne 2022 et de l'été 2023, respectivement.

La force de cible TS pour chaque espèce de poisson à vessie natatoire trouvée dans les échantillons biologiques a été dérivée d'une relation de TS à longueur moyenne disponible dans la littérature (Tableau 6). La longueur moyenne de chaque espèce par strate a été pondérée par le nombre d'individus dans chaque coup de filet standardisé.

Le s_a moyen correspondant au hareng (non désagrégé par stock reproducteur) pour chaque combinaison de strate s et d'année de relevé y est présentée comme suit :

$$\overline{s_{ah_{y,s}}} = \frac{\sum_{t=1}^{t=T_{y,s}} (s_{ah_{y,s,t}} \cdot \omega_{y,s,t})}{T_{y,s}} \quad (6)$$

où $\omega_{y,s,t}$ sont les facteurs de pondération de longueur de transect, c.-à-d. la longueur de transect t divisé par la longueur moyenne des transects $T_{y,s}$ observés.

La variance de cette estimation, $\sigma^2_{\overline{s_{ah_{y,s}}}}$, est définie comme la mesure de la variabilité entre transects de l'abondance du hareng dans chaque strate,

$$\sigma^2_{\overline{s_{ah_{y,s}}}} = \frac{\sum_{t=1}^{t=T_{y,s}} \left(\omega_{y,s,t}^2 \cdot (s_{ah_{y,t}} - \overline{s_{ah_{y,s}}})^2 \right)}{T_{y,s}(T_{y,s} - 1)} \quad (7)$$

Les moyennes et les variances ont ensuite été additionnées entre les strates de chaque relevé pour une estimation du s_a total au niveau du relevé.

2.5. ESTIMATION DE LA DENSITÉ MOYENNE DE LA BIOMASSE DU HARENG PAR GROUPE REPRODUCTEUR

La densité moyenne de la biomasse du hareng ($\overline{D_{y,s,t,g}}$ en kg m⁻²) par relevé y , strate s , transect t et groupe reproducteur g a été calculée comme suit :

$$\overline{D_{y,s,t,g}} = \frac{s_{ah_{y,s,t}} \cdot P_{y,s,g}}{\sum_{g=1}^G \left(10^{\frac{TS_{W_{y,s,g}}}{10}} \cdot P_{y,s,g} \right)} \quad (8)$$

où $P_{y,s,g}$ sont les proportions basées sur le poids de chaque groupe reproducteur dans les échantillons biologiques. Les échantillons biologiques ont fourni les longueurs et les poids moyens du hareng par strate et par groupe reproducteur, ainsi que la proportion en poids de chaque composante reproductrice.

Suivant l'équation indépendante de la profondeur que propose Ona (2003) pour le hareng de l'Atlantique à 38 kHz, la force de cible (TS , dB re 1 m²) est exprimée par

$$TS_{L_{y,s,g}} = 20 \cdot \log_{10}(L_{y,s,g}) - 67,3 \quad (9)$$

où L représente la longueur moyenne (cm) et a été estimée pour chaque relevé y , strate s et groupe reproducteur g .

L'équation 9 est convertie en force de cible par poids unitaire (kg) :

$$TS_{W_{y,s,g}} = TS_{L_{y,s,g}} + 10 \cdot \log_{10}(W_{y,s,g}^{-1}) \quad (10)$$

où W est le poids moyen (kg) des harengs dans les échantillons biologiques affectés au relevé y , à la strate s et au groupe reproducteur g .

Les densités moyennes par transect ont ensuite été moyennées au niveau des strates à l'aide des équations décrites dans O'Boyle et Atkinson (1989) pour les relevés avec longueurs de transects variables :

$$\overline{D_{y,s,g}} = \frac{\sum_{t=1}^{T_{y,s}} (\overline{D_{y,s,t,g}} \cdot \omega_{y,s,t})}{T_{y,s}} \quad (11)$$

La biomasse totale du hareng (en tonnes) dans le relevé y , la strate s et le groupe reproducteur g , $B_{y,s,g}$, a été estimée comme étant le produit des densités moyennes de hareng $\overline{D_{y,s,g}}$ (exprimées en kg m⁻²) et des superficies des strates $A_{y,s}$ (en km²), comme suit (O'Boyle et Atkinson 1989) :

$$B_{y,s,g} = \overline{D_{y,s,g}} \cdot A_{y,s} \cdot 1\,000 \quad (12)$$

où la variance entre les transects d'une strate était donnée par :

$$\sigma^2_{B_{y,s,g}} = \frac{(1000 \cdot A_{y,s})^2 \sum_{t=1}^{T_{y,s}} (\omega_{y,s,t}^2 \cdot (\overline{D_{y,s,t,g}} - \overline{D_{y,s,g}})^2)}{T_{y,s}(T_{y,s}-1)} \quad (13)$$

Les superficies des strates ont été estimées selon la méthode mise à jour décrite dans Beaudry-Sylvestre *et al.* (2024). Les moyennes et les variances pour chaque groupe reproducteur ont ensuite été additionnées entre les strates de chaque relevé pour une estimation de la biomasse totale au niveau du relevé.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. ANALYSE COMPARATIVE

La méthodologie acoustique présentée dans le présent document a été comparée à la méthodologie standardisée appliquée à la série de relevés hydroacoustiques d'automne pour 2009 à 2022 (MPO 2024b; Beaudry-Sylvestre *et al.* 2024). Nous avons effectué une analyse dupliquée du relevé de l'automne 2022 et évalué les valeurs de s_d , qui est linéairement proportionnel à l'abondance pour une espèce donnée.

Une augmentation de 40 % a été observée en comparant le s_a total de cette étude avec celui obtenu par Beaudry-Sylvestre *et al.* (2024) (figure 3). La différence était la plus prononcée dans la strate BI01; toutefois, une augmentation a été observée à travers l'ensemble des données (figure 4). Une évaluation plus approfondie a montré que les méthodes utilisées pour la classification des poissons à vessie natatoire étaient responsables de la majeure partie de cet écart. Un exemple est présenté dans les figures 5 à 7. Pour exclure les poissons sans vessie natatoire, Beaudry-Sylvestre *et al.* (2024) ont utilisé un polygone de seuils qui a été développé à partir de la validation de signatures acoustiques des poissons avec des échantillons biologiques, et des connaissances d'experts (I. McQuinn, comm. pers.). Cependant, l'examen visuel des échogrammes classifiés a révélé que dans une agrégation donnée, certains pixels étaient inclus tandis que d'autres ne l'étaient pas (figure 5). D'un point de vue écologique, cela est probablement inexact, car le hareng et d'autres espèces de poissons formant des bancs sont connus pour se regrouper sous forme d'agrégations monospécifiques (Fréon et Misund 1999). De plus, il n'y avait pas de séparation claire (ou de grappe) de ces pixels à l'intérieur des polygones de poissons avec et sans vessie natatoire (figure 6), ce qui suggère que ces pixels appartenaient au même groupe. Un examen visuel des données après la classification faisait en effet partie de cette méthode, et des corrections manuelles à la classification étaient souvent appliquées. D'autre part, la méthode de classification présentée dans cette étude a conservé tous les signaux acoustiques au sein d'une agrégation qui avait été classifiée comme poisson à vessie natatoire (figure 7), et aucune reclassification manuelle n'a été effectuée.

L'exclusion de la rétrodiffusion acoustique du sébaste par une ligne d'exclusion à 120 m (cette étude) et par l'examen par des experts (Beaudry-Sylvestre *et al.* 2024) a mené à des résultats semblables. La ligne d'exclusion à 120 m a éliminé la grande majorité du sébaste; lorsque celui-ci était détecté à des profondeurs plus faibles, la force du signal acoustique n'était pas assez importante pour générer des différences importantes dans le s_a du hareng résultant. Il a été soulevé lors de l'examen du cadre d'évaluation qui a eu lieu les 4 et 5 avril 2023 que l'application d'une ligne d'exclusion à 120 m pourrait entraîner l'exclusion d'une quantité importante de rétrodiffusion acoustique du hareng; toutefois, il a été convenu que c'était peu probable dans la région et la période couverte par le relevé. Cela a également été confirmé par des échantillons biologiques prélevés à des profondeurs supérieures à 120 m lors des relevés d'été et d'automne 2022 (données non présentées).

L'exclusion d'autres poissons à vessie natatoire (principalement le capelan et la morue) selon la composition des espèces dans les échantillons biologiques (cette étude) et l'examen par des experts (Beaudry-Sylvestre *et al.* 2024) a également mené à des résultats similaires. Cela n'est pas surprenant, compte tenu des faibles proportions de ces espèces par rapport au hareng dans la zone du relevé en 2022. Cependant, ce n'est pas toujours le cas, et l'examen minutieux par des experts pourrait causer des écarts importants lorsqu'une grande proportion de poissons à vessie natatoire autres que le hareng est trouvée dans les échantillons biologiques, ou lorsque l'examen par des experts mène à l'exclusion ou l'inclusion manuelle d'une quantité importante de signaux acoustiques.

Au cours du relevé de l'automne 2022, des échantillons biologiques correspondant à des poissons à vessie natatoire autres que le hareng n'ont été prélevés en quantités importantes (>1 %) que dans la strate 03, avec 23 % de la biomasse correspondant à la morue. Cela a entraîné une légère diminution du s_a dans cette strate, car aucun signal n'avait été identifié comme morue et enlevé manuellement avec la méthode précédente, mais l'incidence sur le s_a global du hareng était limitée (figure 3).

La composition des espèces trouvées dans le chalut était semblable dans le relevé d'automne en 2022 et dans le relevé d'été en 2023. La plus grande proportion de morues a toujours été

observée dans la strate 03 (23 % et 30 % de morue, respectivement). Les autres strates étaient toutes dominées par le hareng (tableaux 4 et 5).

3.2. SÉRIE DE RELEVÉS D'ÉTÉ

Les tableaux 7 à 11 résument les résultats des relevés hydroacoustiques d'été pour 2019 à 2023 dans les divisions 4RSw de l'OPANO, et la figure 8 montre la couverture des relevés pour chaque année de la série temporelle. En 2022, un nombre important de strates n'ont pas été couvertes sur la côte ouest de Terre-Neuve en raison de difficultés liées à l'opération des navires. La partie nord de la strate BI01 a également été manquée à plusieurs reprises (2019, 2021 et 2022). La strate BN n'a été couverte qu'en 2019 et en 2020, mais son incidence sur la biomasse globale était faible (figure 9).

Pour toutes les années de relevé, la majeure partie de l'abondance du hareng a été observée dans les strates 10, 4Sw et BI01 (figures 9 et 10). Le s_a du hareng était élevé dans les strates 05 et 07 en 2019, et dans une moindre mesure en 2020. Il était également plus élevé que les autres années dans la strate 06 en 2020 et, dans une moindre mesure, en 2021. En 2023, le s_a du hareng était plus élevé que les autres années dans la strate BI02.

Le s_a total du hareng a augmenté de 2019 à 2020, puis est demeuré stable (figure 11). De 2020 à 2023, nous observons des tendances opposées entre la biomasse des stocks reproducteurs au printemps et à l'automne (figure 12). Sauf en 2022, la biomasse des reproducteurs d'automne était toujours plus élevée que celle des reproducteurs de printemps.

La biomasse estimée avec la méthode décrite dans Beaudry-Sylvestre *et al.* (2024), disponible pour les relevés acoustiques d'été de 2019 à 2022, a été ajoutée à la figure 12 à des fins de comparaison. Bien que la biomasse estimée avec la méthode décrite dans cette étude soit légèrement plus élevée pour la plupart des années, la différence n'était pas aussi prononcée qu'à la section 3.1. Cela est probablement dû à des différences dans l'examen par les experts. Pour les données du relevé de l'automne 2022, aucune rétrodiffusion acoustique classée comme poisson sans vessie natatoire n'a été reclassée comme poisson à vessie natatoire, malgré l'application d'une telle correction pour toutes les années des relevés d'été. Il est possible que l'analyste ait choisi d'être plus conservateur dans l'examen du relevé d'automne 2022, sachant qu'il allait être utilisé pour une comparaison avec la nouvelle méthode. Comme il a été mentionné précédemment, l'examen minutieux par les experts a souvent servi à corriger la classification imparfaite des poissons avec vessie natatoire avec la méthode de Beaudry-Sylvestre *et al.* (2024), ce qui a donné lieu à des estimations plus semblables à celles de la présente étude. Toutefois, il est difficile de l'appliquer de manière cohérente, tel qu'observé dans le relevé de l'automne 2022. Cela sous-tend la nécessité de supprimer le jugement de l'analyste pour réduire l'incertitude.

4. CONCLUSION

Dans le présent document, nous décrivons les méthodes de conception et d'analyse adoptées pour le relevé hydroacoustique d'été du hareng de l'Atlantique dans les divisions 4RSw de l'OPANO. Ce relevé a été mis en œuvre en 2019 et, en 2023, il est devenu le seul relevé hydroacoustique effectué dans 4RSw pour le hareng.

En ce qui concerne les méthodes d'analyse, les différentes approches utilisées pour classer les poissons à vessie natatoire et les poissons sans vessie natatoire dans les données acoustiques ont été la principale cause d'écart entre cette étude et Beaudry-Sylvestre *et al.* 2024, et suggère une augmentation globale du s_a avec la nouvelle méthodologie. Cependant, nous sommes confiants que la méthode mise à jour mène à des résultats plus

précis et cohérents, car elle évite l'exclusion occasionnelle des poissons à vessie natatoire observée avec la méthode décrite dans Beaudry-Sylvestre *et al.* 2024. L'examen par des experts est également un facteur d'écart, et pourrait conduire de façon égale à un s_a plus élevé ou plus faible.

La différence entre le moment des relevés (été et automne) et la couverture (ajout de deux strates dans le détroit de Belle Isle) peut également entraîner des différences dans l'abondance et la composition des stocks qui sont difficiles à prévoir. Par conséquent, les deux séries temporelles de relevés ne sont probablement pas comparables.

La conception et la méthodologie décrites dans cette étude présentent plusieurs améliorations par rapport à la méthode décrite dans Beaudry-Sylvestre *et al.* 2024. Premièrement, la standardisation et l'automatisation du protocole analytique améliorent l'efficacité, la fiabilité et la reproductibilité des résultats. La subjectivité introduite par la participation de l'analyste dans la classification des échos est supprimée. Cette subjectivité peut entraîner des changements importants dans les densités de biomasse qui en résultent, conduisant à d'importantes variations d'une année à l'autre qui peuvent avoir une incidence sur la faisabilité d'un modèle de population.

Le plan d'échantillonnage biologique a été modifié, passant d'un échantillonnage ciblé, où les pêcheurs étaient chargés de choisir l'emplacement des échantillons de hareng prélevés dans chaque strate de la zone de relevé, à un échantillonnage aléatoire, où ils reçoivent un plan d'échantillonnage aléatoire stratifié prédéfini, éliminant ainsi les connaissances et l'expérience du pêcheur de l'équation. Cette approche, avec l'élimination de l'utilisation d'échantillons commerciaux dans l'estimation des densités de hareng des relevés hydroacoustiques, devrait contribuer à améliorer la fiabilité des distributions d'âge et de longueur et des proportions des stocks reproducteurs.

L'inclusion de deux strates dans le détroit de Belle Isle et d'une strate dans 4Sw dans la conception du relevé fait suite aux recommandations de McQuinn et Lefebvre (1995) et est appuyée par les résultats préliminaires d'une expérience de télémétrie acoustique en cours (MPO 2024a).

Enfin, un relevé d'été est préférable sur le plan logistique, car il a tendance à réduire le nombre de jours perdus en raison du mauvais temps, améliorant ainsi la couverture des relevés. De plus, au cours du mois d'août, les harengs se regroupent dans le Nord (MPO 2024a). Le relevé hydroacoustique d'automne avait lieu en novembre, lorsque les harengs ont déjà commencé leur migration vers le sud. Cela augmente le risque de duplication, les bancs de harengs pouvant se déplacer vers le sud en même temps que le navire, et de manquer d'importantes quantités de harengs dans les baies profondes de la côte ouest de Terre-Neuve, où l'échantillonnage est plus difficile et où des transects ont souvent été omis.

5. REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le capitaine et l'équipage du NGCC *Leim*, du NGCC Frédéric G. *Creed* et du FV Steven Paul pour leur aide dans la réalisation des relevés en 2019 et 2020, ainsi que le capitaine et l'équipage du navire de recherche *Novus* et du bateau de pêche *Meridian 66* pour leur aide avec les relevés effectués de 2020 à 2023. Les analyses présentées ici ont bénéficié des travaux menés par Frédéric Paquet (analyse des données acoustiques), Hélène Dionne (analyse des échantillons de hareng et gestion des bases de données), Mélanie Boudreau, Laurence Lévesque, Roxanne Noël, Quentin Emblanc et Pedro Nilo (analyse des échantillons biologiques). Nous tenons également à remercier M. Maxime Geoffroy, Ph.D., et Mme Elisabeth Van Beveren, Ph.D, pour la révision de ce manuscrit.

6. RÉFÉRENCES CITÉES

- Beaudry-Sylvestre, M., Rousseau, S., et Émond, K. 2024. [Révision et standardisation de l'indice du relevé acoustique pour la série d'automne 2009-2021 du hareng de l'Atlantique \(*Clupea harengus*\) dans les divisions 4RSw de l'OPANO](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2024/026. iv + 34 p.
- Beaulieu, J.-L., I. H. McQuinn, et F. Grégoire. 2010. [Le hareng \(*Clupea harengus harengus* L.\) de la côte ouest de Terre-Neuve \(Division 4R de l'OPANO\) en 2009](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2010/049. vi + 42 p.
- Chamberland, J.-M., Lehoux, C., Émond, K., Vanier, C., Paquet, F., Lacroix-Lepage, C., Benoît, H.P., Van Beveren, E. et Plourde, S. 2022. [Les stocks de hareng Atlantique \(*Clupea harengus*\) sur la côte ouest de Terre-Neuve \(Division 4R de l'OPANO\) en 2019](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/076. v + 116 p.
- Demer, D.A., Berger, L., Bernasconi, M., Bethke, E., Boswell, K., Chu, D., Domokos, R., et al. 2015. [Calibration of acoustic instruments](#). ICES Coop. Res. Rep. No. 326. 133 pp.
- De Robertis, A., et Higginbottom, I. 2007. A post-processing technique for estimation of signal-to-noise ratio and removal of echosounder background noise. ICES J. Mar. Sci. 64, 1282-1291.
- MPO. 2021. [Compte rendu de l'examen régional par des pairs sur l'évaluation du stock de hareng de l'Atlantique \(*Clupea harengus*\) de la côte ouest de Terre-Neuve \(division 4R de l'OPANO\) en 2020](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Compte rendu 2021/009.
- MPO. 2024a. [Compte rendu de l'examen par les pairs régional sur le cadre d'évaluation pour les stocks de hareng de l'Atlantique \(*Clupea harengus*\) de la côte ouest de Terre-Neuve et de la Basse-Côte-Nord du Québec \(divisions OPANO 4RSw\) : Partie 1 - Révision des données disponibles pour la modélisation](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Compte rendu 2024/006.
- MPO. 2024b. [Mise à jour de l'état des stocks de hareng de la côte ouest de Terre-Neuve \(division OPANO 4R\) pour les saisons de pêche 2024 et 2025](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Rép. des Sci. 2024/020.
- Émond, K., Dionne, H., Beaudry-Sylvestre, M., Paquet, F., Rousseau, S., Lehoux, C., et Nilo, P. 2024. [Évaluation des stocks de hareng \(*Clupea harengus*\) de la côte ouest de Terre-Neuve \(Division OPANO 4R\) en 2021](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2024/004. xi + 97 p.
- Fallon, N. G., Fielding, S., et Fernandes, P. G. 2016. Classification of Southern Ocean krill and icefish echoes using random forests. ICES J. Mar. Sci, 73(8), 1998-2008.
- Fernandes, P. G. 2009. Classification trees for species identification of fish-school echotraces. ICES J. Mar. Sci., 66,1073-1080.
- Fréon, P., et Misund, O. A. 1999. Dynamics of pelagic fish distribution and behaviour: effects on fisheries and stock assessment. Fishing News Books. Blackwell Science Ltd.
- Gorska, N., Ona, E., et Korneliussen, R. 2004. On Acoustic Multi-Frequency Species Identification and Separation of Atlantic mackerel, Norwegian Spring Spawn Herring and Norway Pout. ICES CM 2004/R:18. 1-9.
- Korneliussen, R. J. (Ed.). 2018. [Acoustic target classification](#). ICES Coop. Res. Rep. No. 344. 104 pp.

-
- Korneliussen, R. J., Heggelund, Y., Macaulay, G. J., Patel, D., Johnsen, E. et Eliassen, I. K. 2016. Acoustic identification of marine species using a feature library. *Methods Oceanogr.*, 17: 187-205.
- MacLennan, D. N., Fernandes, P. G., Dalen, J., 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. *ICES J. Mar. Sci.* 59(2): 365-369.
- McQuinn I.H. et Lefebvre, L., 1995. [Distribution, movements and size composition of spring-spawning herring in the northern Gulf of St. Lawrence](#). DFO Atlantic Fisheries Res. Doc. 95/57. 31 p.
- McQuinn, I. H., et Lefebvre, L. 1999. [An evaluation of the western Newfoundland herring acoustic abundance index from 1989-1997](#). DFO Can. Stock Ass. Secret. Res. Doc. 99/120. 20 p.
- McQuinn, I.H., Plourde, S., St. Pierre, J-F. et Dion, M. 2015. Spatial and temporal variations in the abundance, distribution, and aggregation of krill (*Thysanoessa raschii* and *Maganyctiphanes norvegica*) in the lower estuary and Gulf of St. Lawrence. *Prog. Oceanogr.* 131:159-176.
- Mitson, R.B. 1983. Acoustic detection and estimation of fish near the sea-bed and surface. *FAO Fish. Rep.* 300: 27-34.
- O'Boyle, R.N. et Atkinson, D.B. 1989. [Hydroacoustic survey methodologies for pelagic fish as recommended by CAFSAC](#). CAFSAC Res. Doc. 89/072, 12 pp.
- Ona, E. 2003. An expanded target-strength relationship for herring, *ICES J. Mar. Sci.* 60(3): 493-499.
- Ona, E. et Mitson, R. B. 1996. Acoustic sampling and signal processing near the seabed: the deadzone revisited. *Ices J. Mar. Sci.* 53, 677-690.
- R Core Team. 2020. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Robotham, H., et Castillo, J. 2009. Selecting the number of transects in multispecies acoustic surveys in northern Chile using a surface occupation index. *Aquat. Living Resour.* 22, 265-272.
- Rose, G.A. 1998. Acoustic target strength of capelin in Newfoundland waters. *ICES J. Mar. Sci.*, 55, 918-923.
- Rose, G.A., et Porter, D.R. 1996. Target-strength studies on Atlantic cod (*Gadus morhua*) in Newfoundland waters. *ICES J. Mar. Sci.*, 53, 259-265.
- RStudio Team. 2020. RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA.
- Ryan, T.E., Downie, R.A., Kloser, R.J., et Keith, G. 2015. Reducing bias due to noise and attenuation in open-ocean echo integration data. *ICES J. Mar. Sci.*, 72, 2482-2493.
- Simard, Y., McQuinn, I. H., Montminy, M., Lang, C., Stevens, C., Goulet, F., Lapierre, J.-F., Beaulieu, J.-L., Landry, J., Samson, Y., et Gagné, M. 2000. CH2: Canadian Hydroacoustic data analysis tool 2 user's manual (version 2.0). *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 2332. 123 p.

7. TABLEAUX

Tableau 1. Résumé des navires utilisés pour les relevés acoustiques, des dates de relevé, des fréquences enregistrées et des méthodes utilisées pour classifier les espèces de poissons à vessie natatoire pour chaque relevé présenté dans la présente étude.

Relevé	Fréquence enregistrée	Navire (plage de dates)	Classification du hareng	Distance entre les transects
2019	38, 120, 200	CCGS <i>F. G. Creed</i> (11 – 23 août)	Examen d'experts	Constant
2020	38, 120	CCGS <i>Leim</i> (8 – 30 août)	Examen d'experts	Constant
2021	38, 120, 200	RV <i>Novus</i> (4 – 18 août)	Examen d'experts	Constant
2022	38, 120, 200	RV <i>Novus</i> (3 – 31 août)	Examen d'experts	Constant
2022 (automne)	38, 120, 200	RV <i>Novus</i> (13 Oct – 10 Nov)	Composition taxinomique	Constant
2023	38, 120, 200	RV <i>Novus</i> (2 – 20 août)	Composition taxinomique	Variable

Tableau 2. Résumé des navires utilisés pour les relevés d'échantillonnage biologique, des dates de relevé, du nombre d'échantillons prélevés au chalut et du plan d'échantillonnage. Ciblé signifie que le bateau de pêche a reçu l'instruction de prélever des échantillons au chalut dans la zone de relevé à des « points chauds » connus du hareng; aléatoire signifie que le bateau de pêche a reçu un plan d'échantillonnage aléatoire à suivre.

Relevé	Navire (plage de dates)	Nombre d'échantillons prélevés avec succès au chalut	Plan d'échantillonnage
2019	FV <i>Steven Paul</i> (11 – 23 août)	12	Ciblé
2020	FV <i>Meridian 66</i> (19 – 24 août)	12	Ciblé
2021	FV <i>Meridian 66</i> (28 – 31 août)	4	Ciblé
2022	FV <i>Meridian 66</i> (18 – 22 août)	13	Ciblé
2022 (automne)	FV <i>Meridian 66</i> (05 – 10 Nov)	12	Aléatoire
2023	FV <i>Meridian 66</i> (26 – 30 août)	16	Aléatoire

Tableau 3. Résumé du remplacement des strates manquantes pour la détermination de la composition des espèces pour les relevés de l'automne 2022 et de l'été 2023. S.O. signifie que la strate n'a pas été relevée avec le navire d'échantillonnage hydroacoustique.

Strate	Strate utilisée (automne 2022)	Strate utilisée (été 2023)
01	03	S.O.
02	S.O.	03
03	03	03
04	04	04
05	05	05
06	S.O.	06
07	S.O.	05
08	S.O.	06
09	10	10
10	10	10
4Sw	4Sw	4Sw
BI01	BI01	BI01
BI02	BI02	BI02
BN	S.O.	S.O.

Tableau 4. Proportions d'espèces (en poids) utilisées pour répartir le s_a au hareng pour chaque strate échantillonnée par le chalutier à l'automne 2022.

Strate	Hareng	Morue
03	0,77	0,23
04	1,00	0,00
05	0,99	0,01
10	0,93	0,07
4Sw	0,99	0,01
BI01	1,00	0,00
BI02	1,00	0,00

Tableau 5. Proportions d'espèces (en poids) utilisées pour répartir le s_a au hareng pour chaque strate échantillonnée par le chalutier à l'été 2023.

Strate	Hareng	Morue
03	0,70	0,30
04	1,00	0,00
05	1,00	0,00
06	0,93	0,07
10	1,00	0,00
4Sw	1,00	0,00
BI01	0,96	0,04
BI02	0,99	0,01

Tableau 6. Relations TS - longueur pour chaque espèce de poisson à vessie natatoire trouvée dans les échantillons biologiques et utilisées dans le calcul du s_a correspondant au hareng pour les relevés de l'automne 2022 et de l'été 2023.

Espèces	Équation	Référence
Hareng	$TS = 20 \log_{10}(L) - 67,3$	Ona (2003)
Morue franche	$TS = 20 \log_{10}(L) - 66,0$	Rose et Porter (1996)
Capelan	$TS = 21.1 \log_{10}(L) - 74,3$	Rose (1998)

Tableau 7. Sommaire des données d'entrée et des résultats du relevé acoustique de 2019, avec leurs erreurs-types (ET) et leurs coefficients de variation (CV). La strate 04 n'a pas fait l'objet d'un relevé.

2019	Strate				Coefficients de rétrodiffusion de surface du hareng (s_a)					Reproducteurs d'automne				Reproducteurs de printemps			
Nom	Strate	Superficie (km ²)	Numéro de transect	Longueur moyenne de transect (m)	Densité d'échantillon (km · km ⁻²)	s_a total (m ²)	Moyenne pondérée s_a			Densité de biomasse (kg · m ⁻²)	Biomasse			Densité de biomasse (kg · m ⁻²)	Biomasse		
							Moyenne (m ² · m ⁻²)	ET	CV		Total (t)	ET	CV		Total (t)	ET	CV
St. Georges S.	01	216,3	3	7 947	1,102e-01	1 046	4,834e-06	4,653e-06	96,3	0,00394	852,9	821	96,3	0,00054	116,8	112,4	96,3
St. Georges N.	02	302,7	6	6 904	1,368e-01	1 428	4,717e-06	3,890e-06	82,5	0,00385	1 165,0	961	82,5	0,000527	159,5	131,5	82,5
Port-au-port G.	03	815,9	5	10 663	6,535e-02	1 741	2,134e-06	1,500e-06	70,3	0,00174	1 420,0	998	70,3	0,000238	194,5	136,7	70,3
Port-au-port	04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bay of Islands G.	05	474,5	4	15 120	1,275e-01	21 892	4,614e-05	4,161e-05	90,2	0,0517	24 522,8	22 118	90,2	0,00436	2 066,6	1 864,0	90,2
Bonne Bay Bank	06	1 148,2	11	11 991	1,149e-01	4 034	3,514e-06	1,318e-06	37,5	0,00292	3 351,1	1 257	37,5	0,000767	881,2	330,4	37,5
Bay of Islands	07	299,9	3	17 350	1,736e-01	12 802	4,269e-05	1,930e-05	45,2	0,0281	8 441,3	3 816	45,2	0,00629	1 886,5	852,8	45,2
Bras Nord	BN	35,5	4	3 391	3,825e-01	432	1,219e-05	3,294e-06	27,0	0,0114	404,9	109	27,0	0,00133	47,2	12,8	27,0
Bonne Bay	08	58,5	6	3 116	3,196e-01	1 461	2,497e-05	9,009e-06	36,1	0,0194	1 132,5	409	36,1	0,00525	307,2	110,8	36,1
Hawk's Bay	09	499,8	6	9 065	1,088e-01	557	1,114e-06	2,422e-07	21,7	0,00103	515,7	112	21,7	0,00022	109,8	23,9	21,7
St. John Bay	10	996,9	7	15 923	1,118e-01	20 879	2,094e-05	1,228e-05	58,7	0,0209	20 794,7	12 198	58,7	0,00276	2 753,3	1 615,0	58,7
Basse-Côte-Nord	4Sw	643,3	6	11 280	1,052e-01	946	1,470e-06	4,764e-07	32,4	0,00163	1 047,7	339	32,4	0,000131	84,2	27,3	32,4
Belle Isle S.	BI01	384,8	7	5 486	9,981e-02	4 852	1,261e-05	5,129e-06	40,7	0,0117	4 491,8	1 827	40,7	0,000972	373,9	152,1	40,7
Belle Isle N.	BI02	562,1	7	9 086	1,132e-01	740	1,316e-06	7,916e-07	60,1	0,00122	685,0	412	60,1	0,000101	57,0	34,3	60,1
Moyenne/Total	-	6 438,5	75	9 744	1,135e-01	72 810	1,786e-04	4,914e-05	27,5	0,0107	68 794,9	25 701	37,4	0,0014	9 022,4	2 643,8	29,3

Tableau 8. Résumé des données d'entrée et des résultats du relevé acoustique de 2020, avec leurs erreurs-types (ET) et leurs coefficients de variation (CV). La strate 01 n'a pas fait l'objet d'un relevé.

2020	Strate				Coefficients de rétrodiffusion de surface du hareng (s_a)					Reproducteurs d'automne				Reproducteurs de printemps			
Nom	Strate	Superficie (km ²)	Numéro de transect	Longueur moyenne de transect (m)	Densité d'échantillon (km · km ²)	s_a total (m ²)	Moyenne pondérée s_a			Densité de biomasse (kg · m ⁻²)	Biomasse			Densité de biomasse (kg · m ⁻²)	Biomasse		
							Moyenne (m ² · m ²)	ET	CV		Total (t)	ET	CV		Total (t)	ET	CV
St. Georges S.	01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
St. Georges N.	02	302,7	4	6 479	8,561 ^e -02	3 156	1,042e-05	2,183e-06	20,9	0,00803	2 429,7	508,72	20,9	0,00182	551,7	115,51	20,9
Port-au-port G.	03	795,8	4	8 874	4,461 ^e -02	13 810	1,735e-05	3,462e-06	19,9	0,00876	6 973,5	1 391,14	19,9	0,0056	4 456,3	888,98	19,9
Port-au-port	04	352,0	3	19 148	1,632 ^e -01	3 175	9,020e-06	1,971e-06	21,9	0,00425	1 496,8	327,16	21,9	0,00314	1 106,7	241,89	21,9
Bay of Islands G.	05	477,9	5	14 963	1,566 ^e -01	11 373	2,380e-05	5,760e-06	24,2	0,00996	4 759,6	1 151,98	24,2	0,00928	4 436,4	1 073,77	24,2
Bonne Bay Bank	06	1 157,2	3	13 604	3,527 ^e -02	24 308	2,101e-05	3,109e-06	14,8	0,00928	10 743,1	1 590,25	14,8	0,00854	9 885,0	1 463,22	14,8
Bay of Islands	07	293,2	4	16 005	2,183 ^e -01	9 169	3,127e-05	4,927e-06	15,8	0,0147	4 323,2	681,28	15,8	0,0109	3 196,5	503,73	15,8
Bras Nord	BN	32,9	3	3 258	2,969 ^e -01	223	6,786e-06	2,687e-07	4,0	0,0032	105,4	4,17	4,0	0,00237	77,9	3,08	4,0
Bonne Bay	08	58,5	6	2 998	3,075 ^e -01	721	1,232e-05	2,627e-06	21,3	0,00904	528,9	112,73	21,3	0,00318	185,9	39,62	21,3
Hawk's Bay	09	499,7	3	10 135	6,085 ^e -02	1 263	2,527e-06	1,451e-06	57,4	0,00139	693,2	398,08	57,4	0,000871	435,2	249,93	57,4
St. John Bay	10	959,1	9	11 776	1,105 ^e -01	9 194	9,586e-06	2,443e-06	25,5	0,00781	7 488,9	1 908,35	25,5	0,00187	1 792,5	456,77	25,5
Basse-Côte-Nord	4Sw	2 169,6	13	12 347	7,399 ^e -02	3 783	1,744e-06	4,150e-07	23,8	0,00142	3 081,8	733,40	23,8	0,00034	737,6	175,54	23,8
Belle Isle S.	BI01	774,0	8	7 488	7,741 ^e -02	52 928	6,839e-05	3,032e-05	44,3	0,0557	43 111,9	19 112,92	44,3	0,0133	10 319,1	4 574,78	44,3
Belle Isle N.	BI02	603,7	5	11 606	9,612 ^e -02	2 104	3,485e-06	1,661e-06	47,6	0,00284	17 14,0	816,57	47,6	0,00068	410,3	195,45	47,6
Moyenne/Total	-	8 476,4	70	10 587	8,744^e-02	135 207	2,177e-04	3,201e-05	14,7	0,0103	87 450,1	19 415,01	22,2	0,00443	37 591,2	5 067,56	13,5

Tableau 9. Résumé des données d'entrée et des résultats du relevé acoustique de 2021, avec leurs erreurs-types (ET) et leurs coefficients de variation (CV). Les strates 02, 08, BN et BI02 n'ont pas fait l'objet d'un relevé.

2021	Strate				Coefficients de rétrodiffusion de surface du hareng (s_a)					Reproducteurs d'automne				Reproducteurs de printemps				
	Nom	Strate	Superficie (km ²)	Numéro de transect	Longueur moyenne de transect (m)	Densité d'échantillon (km · km ²)	s_a total (m ²)	Moyenne pondérée s_a			Densité de biomasse (kg · m ⁻²)	Biomasse			Densité de biomasse (kg · m ⁻²)	Biomasse		
								Moyenne (m ² · m ²)	ET	CV		Total (t)	ET	CV		Total (t)	ET	CV
St. Georges S.	01	302,9	8	3 793	1,002e-01	2 215	7,313e-06	5,273e-06	72,1	0,000832	251,9	182	72,1	0,00836	2 533,3	1 826,8	72,1	
St. Georges N.	02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Port-au-port G.	03	796,3	5	10 429	6,549e-02	4 835	6,071e-06	1,126e-06	18,6	0,00255	2 029,6	377	18,6	0,00248	1 976,6	366,7	18,6	
Port-au-port	04	352,5	4	10 262	1,164e-01	4 718	1,338e-05	6,274e-06	46,9	0,00562	1 980,8	929	46,9	0,00547	1 929,0	904,3	46,9	
Bay of Islands G.	05	477,9	4	12 881	1,078e-01	4 968	1,039e-05	4,833e-06	46,5	0,00436	2 085,5	970	46,5	0,00425	2 031,0	944,3	46,5	
Bonne Bay Bank	06	1 157,3	10	11 947	1,032e-01	13 804	1,193e-05	2,447e-06	20,5	0,00808	9 352,1	1 919	20,5	0,00689	7 979,4	1 637,3	20,5	
Bay of Islands	07	306,2	4	12 591	1,645e-01	2 880	9,407e-06	1,878e-06	20,0	0,00395	1 209,1	241	20,0	0,00385	1 177,5	235,1	20,0	
Bras Nord	BN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Bonne Bay	08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hawk's Bay	09	499,7	6	9 464	1,136e-01	5 239	1,048e-05	2,910e-06	27,8	0,0071	3 549,1	985	27,8	0,00606	3 028,2	840,8	27,8	
St. John Bay	10	983,3	9	11 441	1,047e-01	19 402	1,973e-05	7,117e-06	36,1	0,0283	27 856,8	10 049	36,1	0,000168	165,4	59,7	36,1	
Basse-Côte-Nord	4Sw	2 194,9	14	11 318	7,219e-02	43 228	1,969e-05	1,689e-05	85,8	0,0283	62 066,1	53 243	85,8	0,000168	368,5	316,1	85,8	
Belle Isle S.	BI01	301,6	7	3 906	9,068e-02	23 439	7,772e-05	3,370e-05	43,4	0,112	33 653,2	14 594	43,4	0,000662	199,8	86,6	43,4	
Belle Isle N.	BI02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Moyenne/Total	-	7 372,7	71	9 725	9,365e-02	124 727	1,861e-04	3,977e-05	21,4	0,0195	144 034,2	56 173	39,0	0,0029	21 388,7	2 955,5	13,8	

Tableau 10. Résumé des données d'entrée et des résultats du relevé acoustique de 2022, avec leurs erreurs-types (ET) et leurs coefficients de variation (CV). Les strates 04, 06, 08, 09 et BN n'ont pas fait l'objet d'un relevé.

2022	Strate				Coefficients de rétrodiffusion de surface du hareng (s_a)					Reproducteurs d'automne				Reproducteurs de printemps			
Nom	Strate	Superficie (km ²)	Numéro de transect	Longueur moyenne de transect (m)	Densité d'échantillon (km · km ²)	s_a total (m ²)	Moyenne pondérée s_a			Densité de biomasse (kg · m ⁻²)	Biomasse			Densité de biomasse (kg · m ⁻²)	Biomasse		
							Moyenne (m ² · m ²)	ET	CV		Total (t)	ET	CV		Total (t)	ET	CV
St. Georges S.	01	410,9	10	4 148	1,010e-01	1 599	3,891e-06	1,884e-06	48,4	0,00137	563,8	273	48,4	0,000718	295,1	143	48,4
St. Georges N.	02	305,3	6	6 052	1,189e-01	1 916	6,275e-06	2,978e-06	47,5	0,00198	604,5	287	47,5	0,00205	625,7	297	47,5
Port-au-port G.	03	803,8	6	7 465	5,573e-02	7 021	8,735e-06	3,070e-06	35,1	0,00179	1 436,8	505	35,1	0,00677	5 444,4	1 914	35,1
Port-au-port	04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bay of Islands G.	05	482,9	2	16 543	6,851e-02	5 617	1,163e-05	9,701e-06	83,4	0,00238	1 149,6	959	83,4	0,00902	4 356,1	3 633	83,4
Bonne Bay Bank	06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bay of Islands	07	309,3	3	16 353	1,586e-01	2 836	9,170e-06	2,717e-06	29,6	0,00188	580,4	172	29,6	0,00711	2 199,5	652	29,6
Bras Nord	BN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bonne Bay	08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hawk's Bay	09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
St. John Bay	10	386,8	4	11 479	1,187e-01	20 317	5,252e-05	3,640e-05	69,3	0,0215	8 329,2	5 772	69,3	0,0307	11 866,4	8 224	69,3
Basse-Côte-Nord	4Sw	2 225,3	18	11 211	9,069e-02	3 518	1,581e-06	1,002e-06	63,4	0,000924	2 056,8	1 303	63,4	0,00071	1 580,0	1 001	63,4
Belle Isle S.	BI01	590,5	9	5 360	8,169e-02	99 454	1,684e-04	2,964e-05	17,6	0,069	40 772,9	7 175	17,6	0,0984	58 088,1	10 222	17,6
Belle Isle N.	BI02	600,9	8	8,147	1,085e-01	2 829	4,708e-06	1,368e-06	29,1	0,00193	1 159,9	337	29,1	0,00275	1 652,4	480	29,1
Moyenne/Total	-	8 216,9	66	8 574	6,887e-02	145 108	2,669e-04	4,826e-05	18,1	0,00689	56 653,9	9 380	16,6	0,0105	86 107,6	13 811	16,0

Tableau 11. Résumé des données d'entrée et des résultats du relevé acoustique de 2023, avec leurs erreurs-types (ET) et leurs coefficients de variation (CV). Les strates 01 et BN n'ont pas fait l'objet d'un relevé.

2023	Strate				Coefficients de rétrodiffusion de surface du hareng (s_a)					Reproducteurs d'automne				Reproducteurs de printemps				
	Nom	Strate	Superficie (km ²)	Numéro de transect	Longueur moyenne de transect (m)	Densité d'échantillon (km · km ²)	s_a total (m ²)	Moyenne pondérée s_a			Densité de biomasse (kg · m ⁻²)	Biomasse			Densité de biomasse (kg · m ⁻²)	Biomasse		
								Moyenne (m ² · m ²)	ET	CV		Total (t)	ET	CV		Total (t)	ET	CV
St. Georges S.	01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
St. Georges N.	02	302,7	4	7 686	1,016e-01	847	2,798e-06	1,847e-06	66,0	0,0018	546,0	360,3	66,0	0,000831	251,6	166,0	66,0	
Port-au-port G.	03	796,3	6	8 474	6,385e-02	1 186	1,489e-06	5,156e-07	34,6	0,00096	764,4	264,7	34,6	0,000442	352,2	122,0	34,6	
Port-au-port	04	352,5	4	9 404	1,067e-01	2 829	8,025e-06	2,853e-06	35,6	0,00517	1 823,2	648,3	35,6	0,00238	840,1	298,7	35,6	
Bay of Islands G.	05	477,9	4	14 494	1,213e-01	2 453	5,134e-06	2,351e-06	45,8	0,00284	1 356,1	621,1	45,8	0,00212	1 013,6	464,3	45,8	
Bonne Bay Bank	06	1 157,3	8	11 549	7,984e-02	5 128	4,431e-06	1,456e-06	32,9	0,00253	2 931,9	963,6	32,9	0,00173	1 998,2	656,7	32,9	
Bay of Islands	07	306,2	4	21 561	2,817e-01	4 436	1,449e-05	5,588e-06	38,6	0,0097	2 969,0	1 145,0	38,6	0,00451	1 379,5	532,0	38,6	
Bras Nord	BN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Bonne Bay	08	58,5	12	4 409	9,044e-01	284	4,863e-06	1,314e-06	27,0	0,00293	171,3	46,3	27,0	0,00156	91,5	24,7	27,0	
Hawk's Bay	09	499,7	5	9 947	9,953e-02	3 094	6,192e-06	3,176e-06	51,3	0,00465	2 325,8	1 192,9	51,3	0,00131	655,1	336,0	51,3	
St John Bay	10	965,1	12	12 670	1,575e-01	7 417	7,685e-06	2,267e-06	29,5	0,00652	6 291,9	1 856,1	29,5	0,00111	1 075,5	317,3	29,5	
Basse-Côte-Nord O.	4Sw01	1 112,1	3	11 856	3,198e-02	660	5,931e-07	3,412e-07	57,5	0,000513	570,8	328,4	57,5	0,000123	136,4	78,5	57,5	
Basse-Côte-Nord E.	4Sw02	1 082,8	12	11 846	1,313e-01	11 248	1,039e-05	5,890e-06	56,7	0,00899	9 734,3	5 519,1	56,7	0,00215	2 326,0	1 318,8	56,7	
Belle Isle S.	BI01	1 042,9	16	8 546	1,311e-01	59 810	5,735e-05	2,021e-05	35,2	0,0445	46 401,0	16 348,8	35,2	0,0152	15 886,0	5 597,2	35,2	
Belle Isle N.	BI02	626,8	8	7 244	9,246e-02	18 923	3,019e-05	1,230e-05	40,8	0,0269	16 877,8	6 878,9	40,8	0,00637	3 993,7	1 627,7	40,8	
Moyenne/Total	-	9 221,6	98	10 030	1,066e-01	118 316	1,536e-04	2,573e-05	16,8	0,0101	92 763,3	18 795,9	20,3	0,00325	29 999,5	6 082,7	20,3	

8. FIGURES

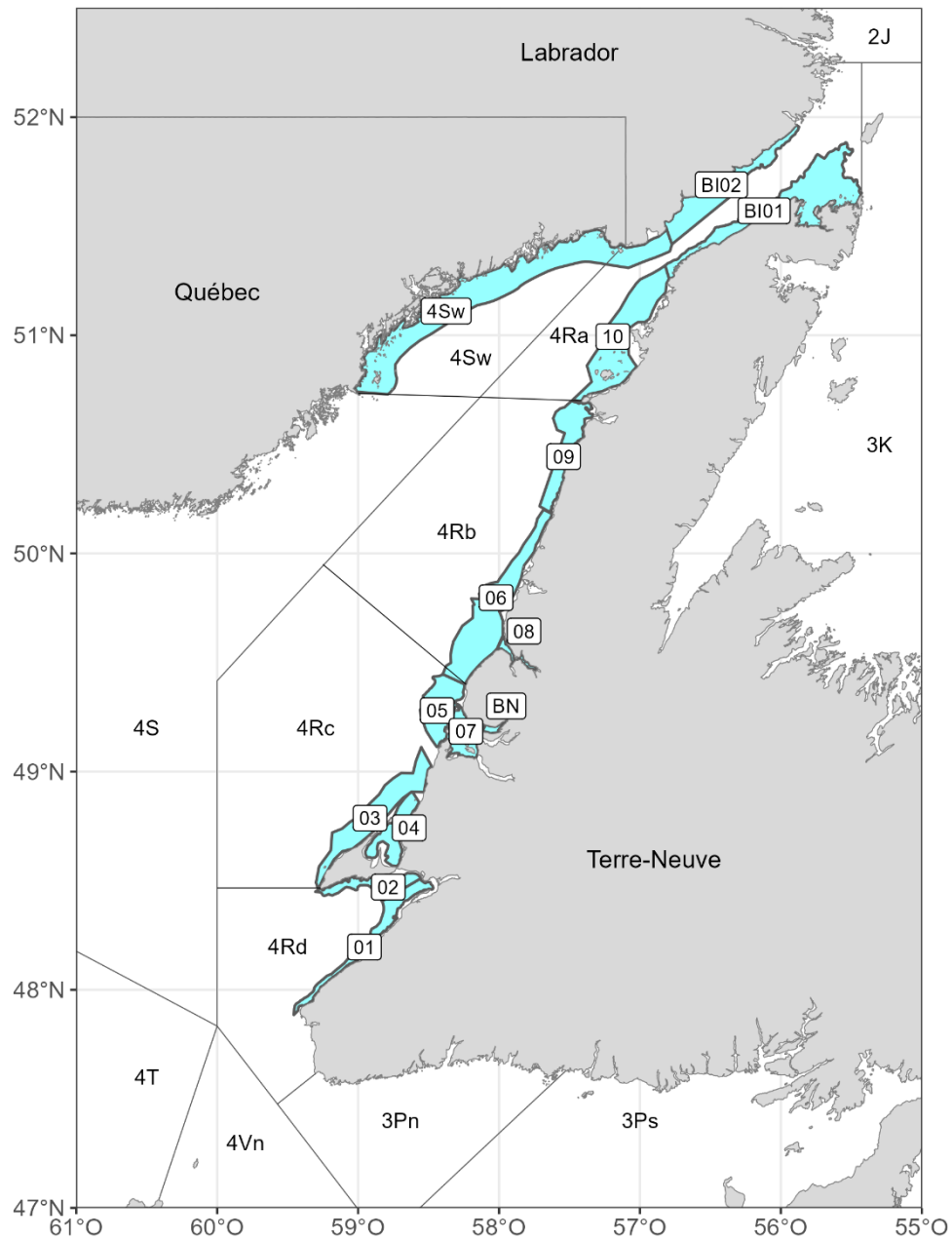


Figure 1. Définitions des strates utilisées pour les relevés d'été de 2019 à 2023 et pour le relevé de l'automne 2022. Les divisions de l'OPANO et les zones unitaires de 4R et 4Sw sont également indiquées.

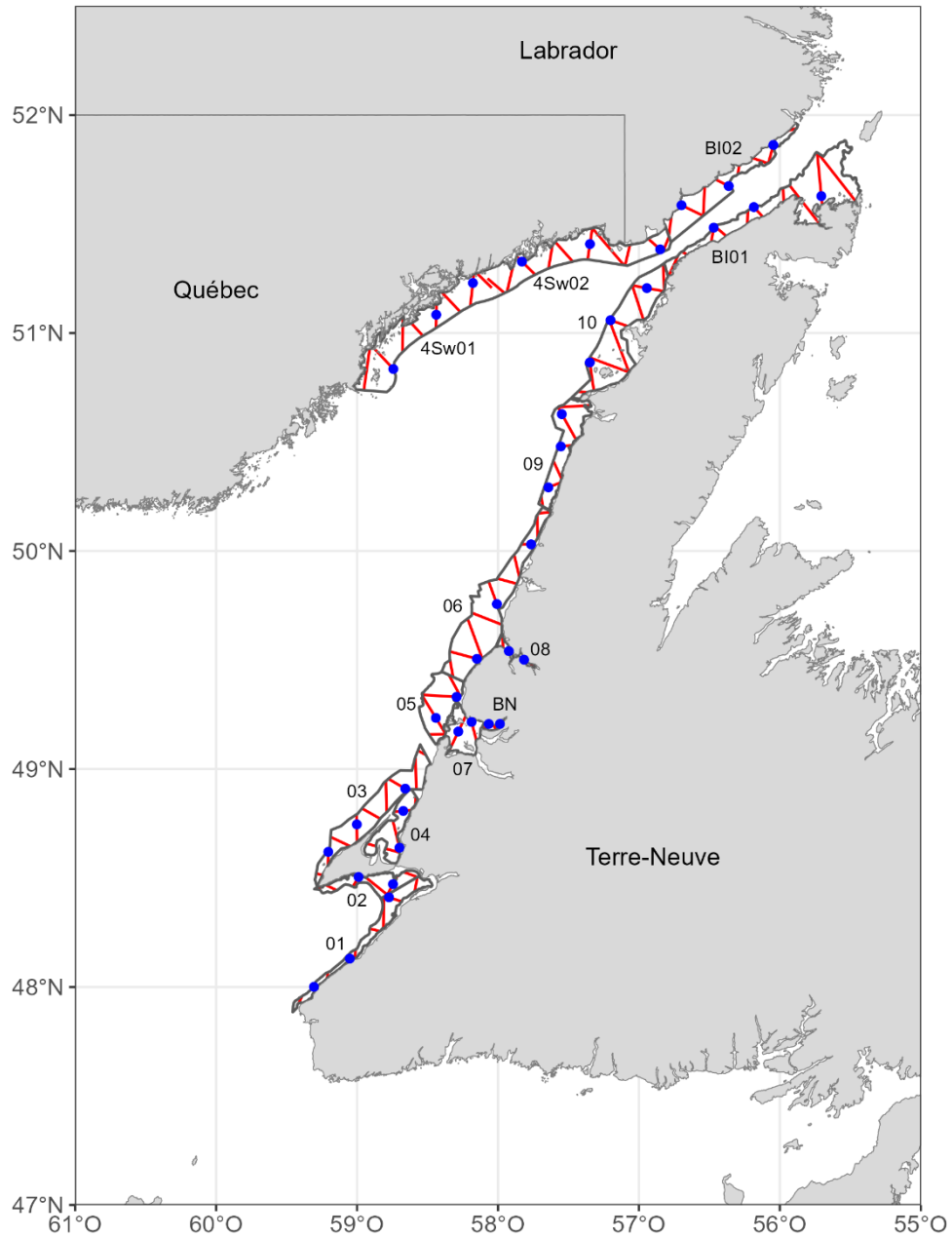


Figure 2. Exemple de plan d'échantillonnage pour le prélèvement d'échantillons biologiques (relevé de l'automne 2022). Les lignes rouges représentent la trajectoire suivie par le bateau de pêche. Les points bleus représentent la distance minimale entre les stations de chalutage consécutives.

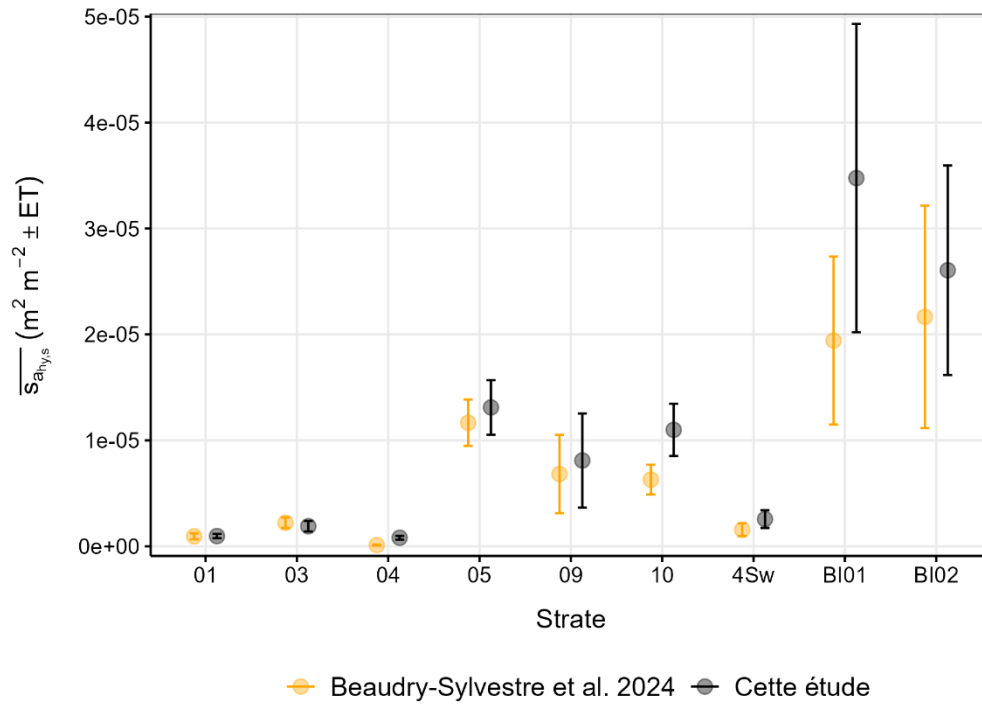


Figure 3. Comparaison du $\overline{s_{a_{hy,s}}}$ ($m^2 m^{-2}$) et de l'erreur-type (ET, $\sqrt{\sigma^2_{\overline{s_{a_{hy,s}}}}$) estimés avec la méthode décrite dans Beaudry-Sylvestre et al. (2024) et cette étude, pour les strates observées lors du relevé acoustique de l'automne 2022.

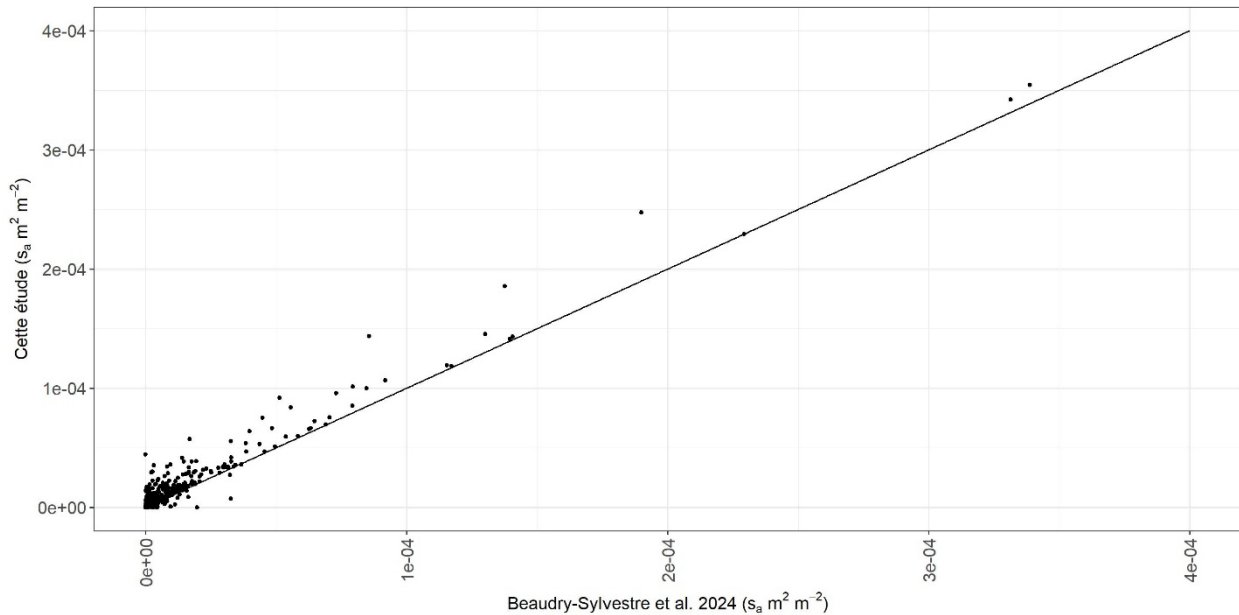


Figure 4. Comparaison du s_{a_h} du relevé de l'automne 2022 par distance de pas de 500 m avec la méthode décrite dans Beaudry-Sylvestre et al. (2024), et cette étude. L'équivalence 1:1 (ligne pleine) est également indiquée.

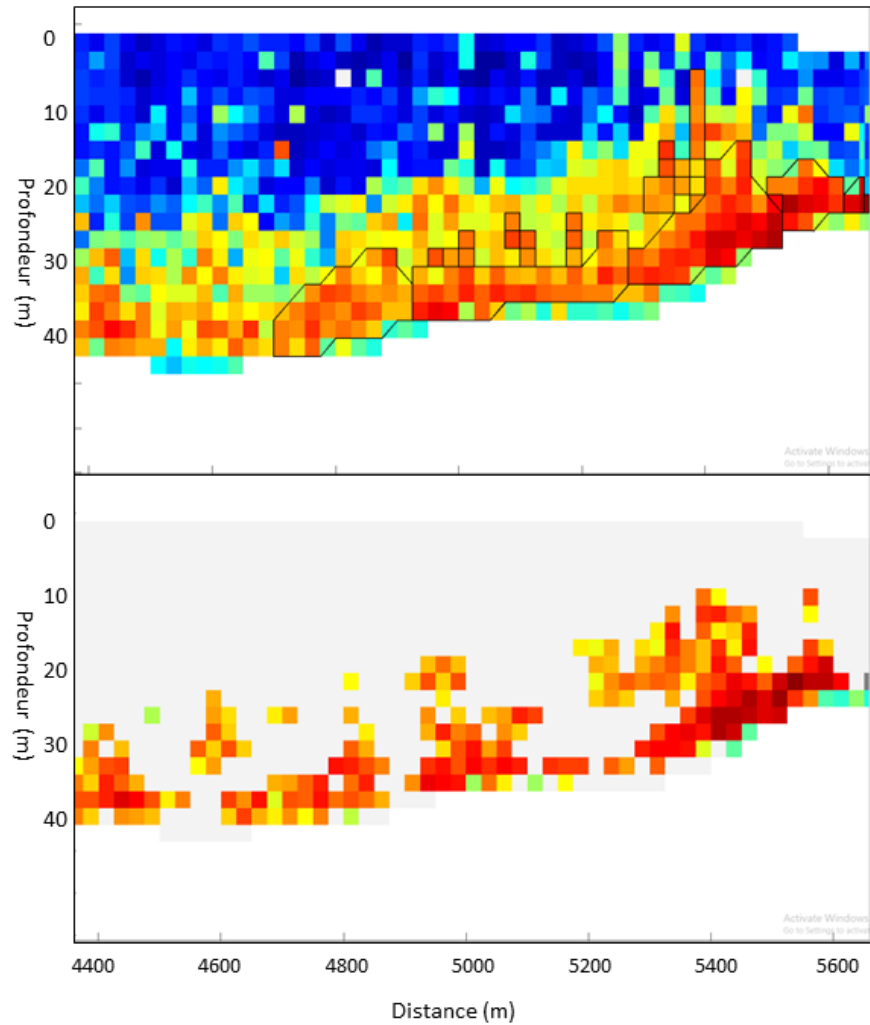


Figure 5. Échogramme à 38 kHz montrant un extrait de données avant (panneau supérieur) et après (panneau inférieur) classification des poissons à vessie natatoire à l'aide de la méthode décrite dans Beaudry-Sylvestre et al. (2024). Les données ont été recueillies dans le transect 07 de la strate B101 lors du relevé acoustique de l'automne 2022. Les pixels entourés d'une ligne noire (panneau supérieur) indiquent les données incluses dans la figure 6.

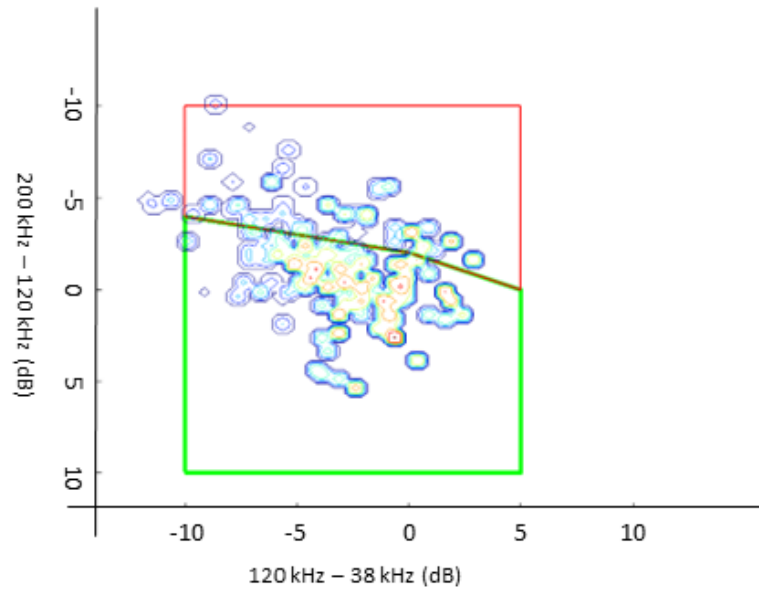


Figure 6. Polygone de classification des poissons à vessie natatoire (vert) et sans vessie natatoire (rouge) obtenus à partir de la méthode décrite dans Beaudry-Sylvestre et al. (2024). Les pixels entourés par les lignes noires dans la figure 5 (panneau supérieur) sont montrés ici. Les deux axes représentent les différences entre l'indice de rétrodiffusion volumétrique S_v (dB re 1 m^{-1}) pour chaque paire de fréquences, i.e., $\Delta S_{v i-j} = S_{v i} - S_{v j}$, où i et j sont les indices indiquant la fréquence en kHz.

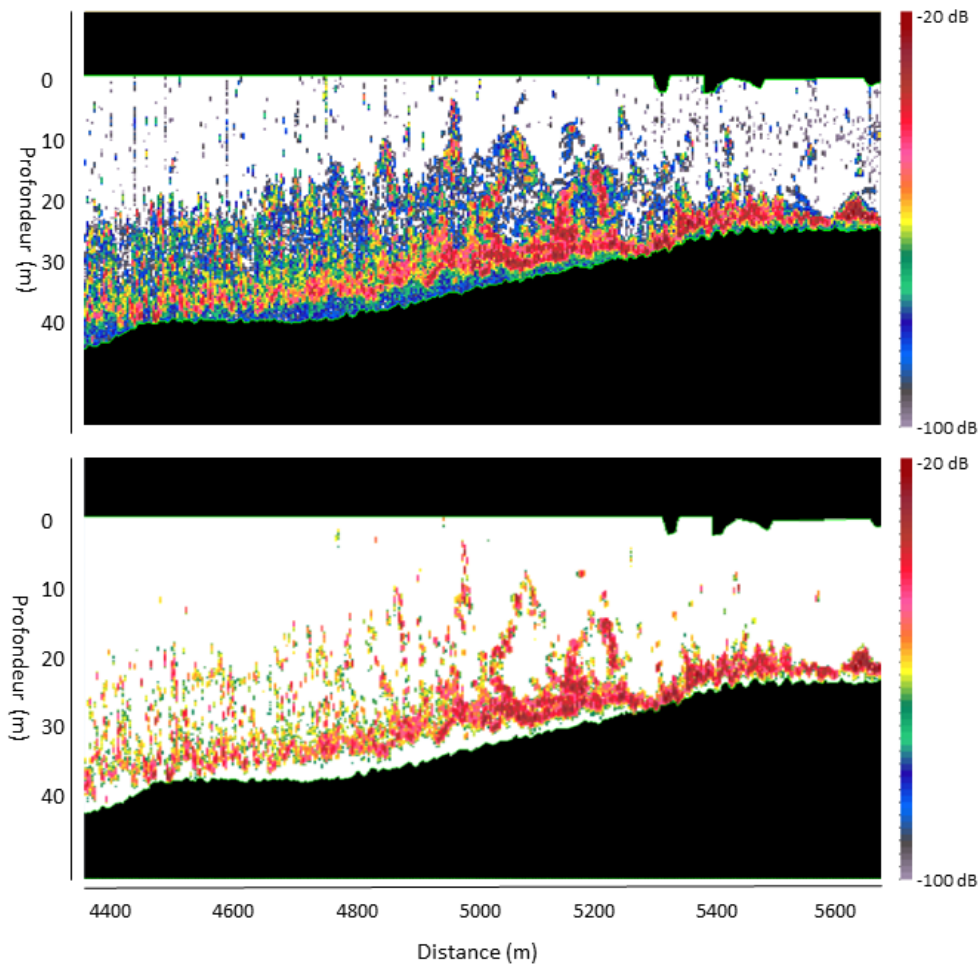


Figure 7. Échogramme à 38 kHz montrant un extrait de données avant (panneau supérieur) et après (panneau inférieur) la classification en utilisant la méthode décrite dans la présente étude. Le panneau supérieur montre l'échogramme suivant les étapes de traitement décrites jusqu'à la section 2.3. Le panneau inférieur montre l'échogramme suivant les étapes de traitement décrites aux sections 2.4.1 et 2.4.2. Les données ont été recueillies dans le transect 07 de la strate BI01 lors du relevé acoustique de l'automne 2022.

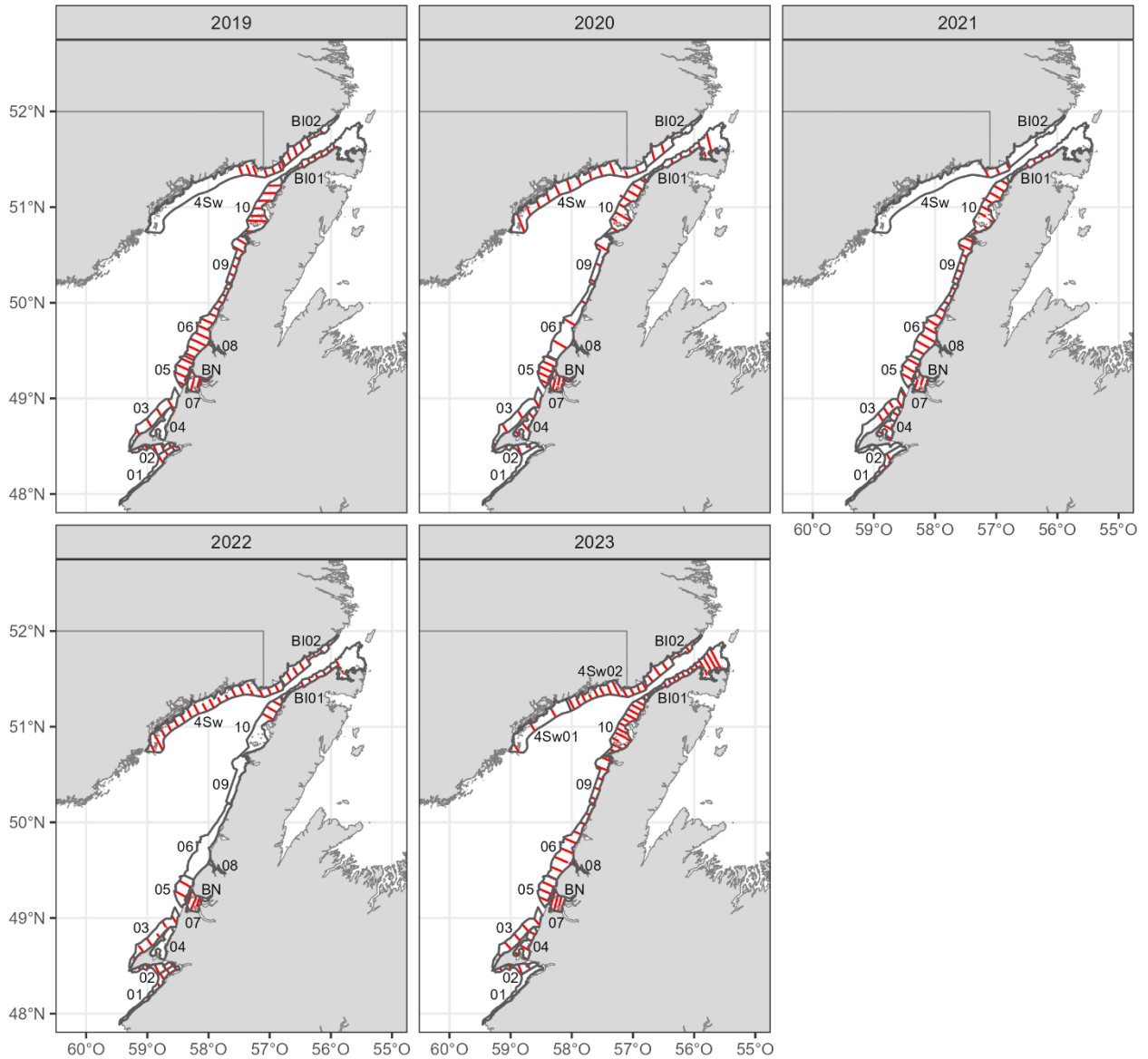


Figure 8. Transects ayant été réalisés avec succès au cours des relevés acoustiques d'été de 2019 à 2023.

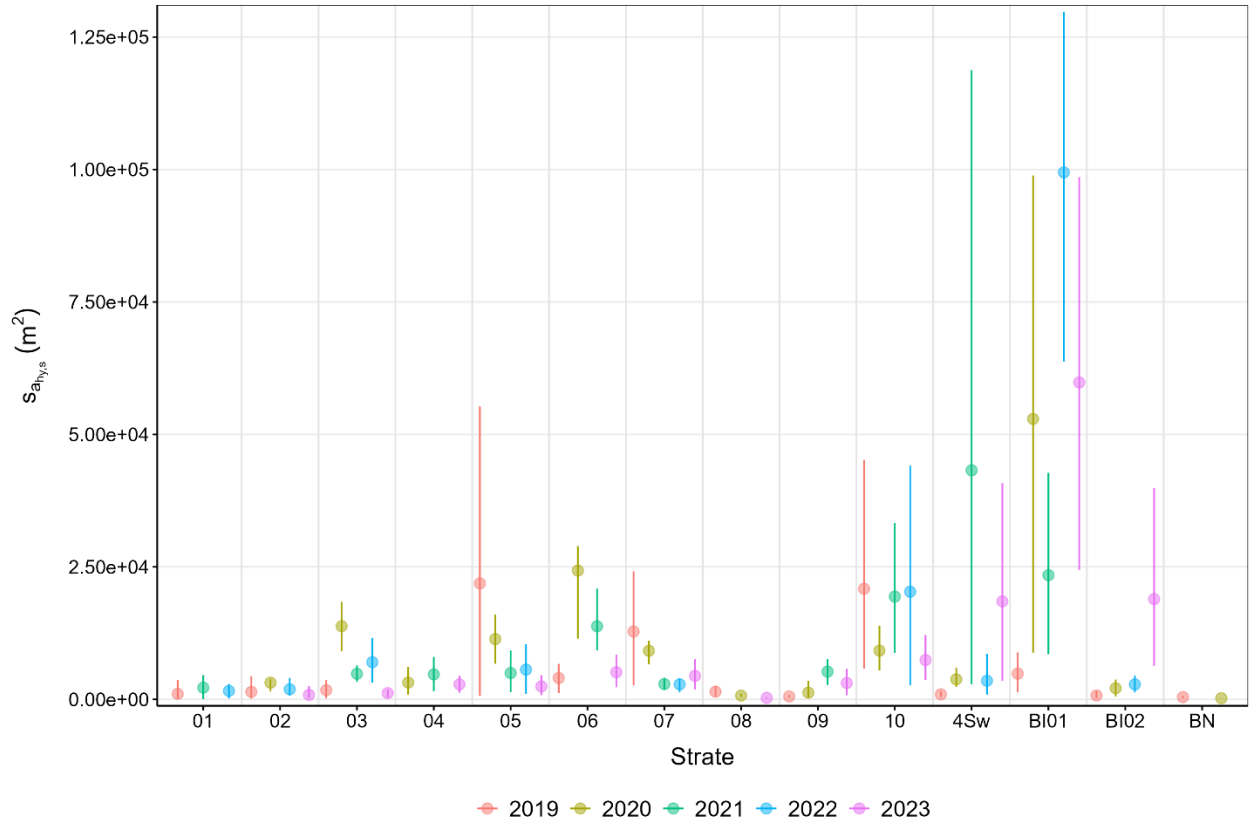


Figure 9. Somme du coefficient de rétrodiffusion de surface pour chaque strate ($s_{a_{n_{y,s}}}$, m^2) et chaque année des relevés acoustiques d'été. Les barres d'erreur représentent les intervalles de confiance à 95 % selon la méthode bootstrap. Les deux groupes reproducteurs sont inclus. Il est à noter que la strate 01 n'a pas été échantillonnée en 2020 et en 2023, la strate 02 en 2021, la strate 04 en 2019 et 2022, la strate 06 en 2022, la strate 08 en 2021 et 2022, la strate 09 en 2022, la strate BI02 en 2021 et la strate BN en 2021, 2022 et 2023.

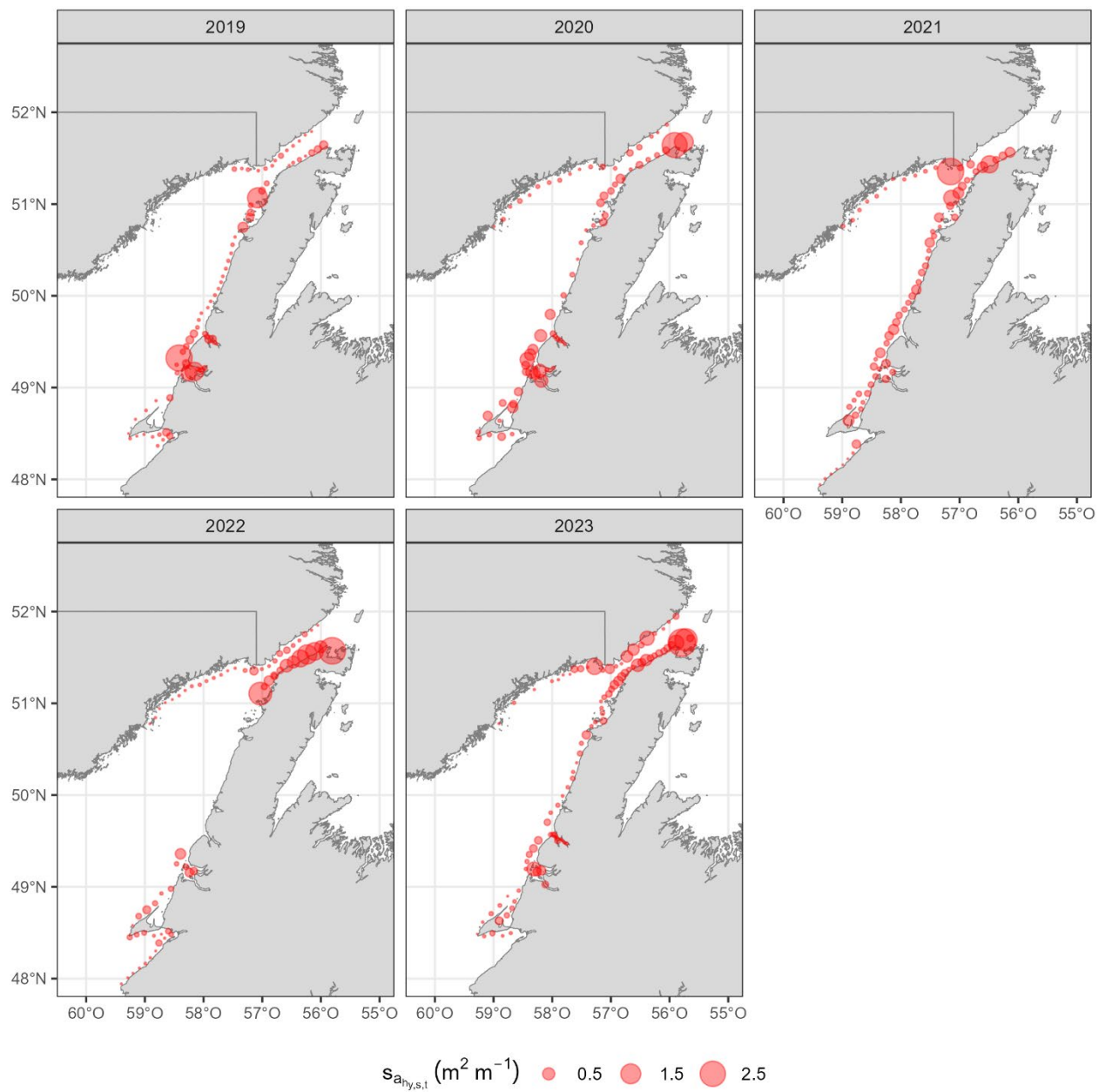


Figure 10. Coefficient de rétrodiffusion de surface par transect, multiplié par la longueur du transect ($s_{a_{hy_{s,t}}}$, $m^2 m^{-1}$), pour chaque année du relevé acoustique d'été. Les deux groupes reproducteurs sont inclus.

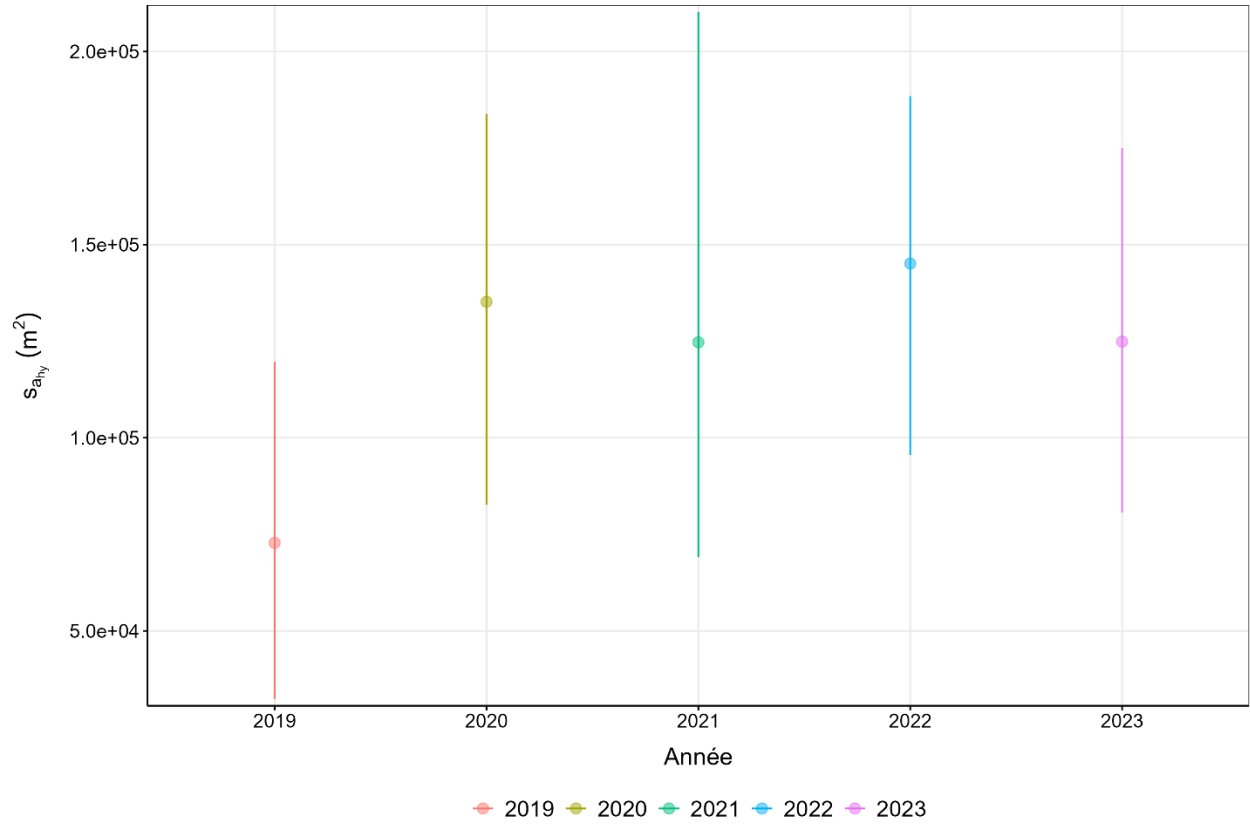


Figure 11. Coefficient de rétrodiffusion de surface total par année ($s_{a_{n,y}}$, m^2) pour le relevé acoustique d'été. Les barres d'erreur représentent les intervalles de confiance à 95 % selon la méthode bootstrap. Les deux groupes reproducteurs sont inclus.

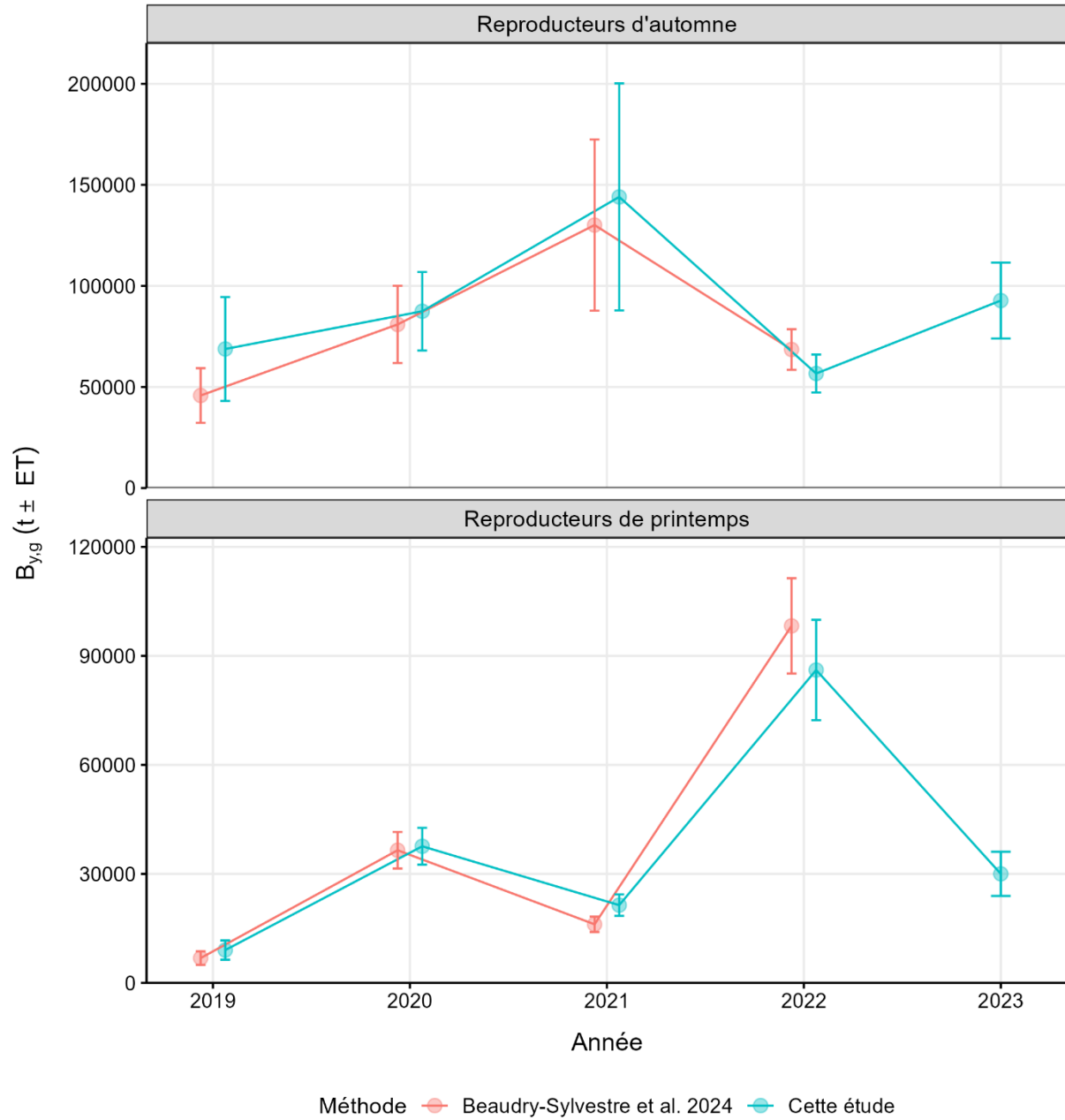


Figure 12. Indice de biomasse ($B_{y,g}$, t) et erreur-type ($ET, \sqrt{\sigma^2_{B_{y,g}}}$) par année par groupe reproducteurs pour le relevé acoustique d'été estimé à l'aide de la méthode décrite dans Beaudry-Sylvestre et al. (2024) et dans la présente étude.