



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 2024/046

Région du Québec

Répartition spatio-temporelle de la baleine noire de l'Atlantique Nord dans le golfe du Saint-Laurent selon les données de surveillance acoustique enregistrées entre 2010 et 2022

Y. Simard, S. Giard, N. Roy, P. Royer, M.-E., Chartrand-Lemieux, et E. Perreault

Institut Maurice-Lamontagne
Pêches et Océans Canada
850 route de la Mer
Mont-Joli, QC, 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](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 978-0-660-73273-2 N° cat. Fs70-5/2024-046F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Simard, Y., Giard, S., Roy, N., Royer, P., Chartrand-Lemieux, M.-E., et Perreault, E. 2024.
Répartition spatio-temporelle de la baleine noire de l'Atlantique Nord dans le golfe du Saint-
Laurent selon les données de surveillance acoustique enregistrées entre 2010 et 2022.
Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2024/046. vi + 27 p.

Also available in English :

*Simard, Y., Giard, S., Roy, N., Royer, P., Chartrand-Lemieux, M.-E., and Perreault, E. 2024.
Time-Space Distribution of North Atlantic Right Whale in Gulf of St-Lawrence from
Acoustic Monitoring between 2010 and 2022. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.
2024/046. vi + 26 p.*

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	vi
INTRODUCTION	1
MÉTHODES.....	1
RÉSEAU DE STATIONS SAP DÉPLOYÉES DE 2010 À 2022	1
ANALYSE DES DONNÉES SAP	2
Métriques	3
RÉSULTATS.....	4
EFFORT D'OBSERVATION ACOUSTIQUE ET TAUX D'OCCURRENCE	4
SÉRIE CHRONOLOGIQUE DE L'OCCURRENCE D'APPELS DE CONTACT DE LA BNAN AUX STATIONS.....	5
CARTES DE L'OCCURRENCE MENSUELLE DES APPELS DE CONTACT DE LA BNAN ..	5
PROPORTION SAISONNIÈRE DES JOURS D'OCCURRENCE D'APPEL DE CONTACT DE LA BNAN ET PHASES D'ARRIVÉE ET DE DÉPART	6
DISCUSSION.....	7
ATTÉNUATION DES LIMITATIONS DE L'ENSEMBLE DE DONNÉES	7
OÙ ET QUAND LA BNAN UTILISE LE GOLFE DU SAINT-LAURENT	8
REMERCIEMENTS	9
RÉFÉRENCES CITÉES	9
FIGURES	12
TABLEAUX	22
ANNEXE 1	25
ANNEXE 2	26
ANNEXE 3	27

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Carte bathymétrique de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent dans l'est du Canada montrant les emplacements où l'on a déployé des stations SAP sur des mouillages démersaux de type I (étoiles numérotées, illustration) et des bouées de surface Viking du SOO (cercles avec une lettre, photo) équipées d'un hydrophone à une profondeur d'environ 25 m.....	12
Figure 2. Nombre de jours avec appel de contact de la BNAN par semaine, $d_7(s,w)$, Éq. 1, de 2010 à 2022, aux stations sur le fond marin classées en fonction de la distance par rapport au détroit de Cabot.	13
Figure 3. Nombre de jours avec appel de contact de la BNAN par semaine, $d_7(s,w)$, Éq. 1, de 2019 à 2022, aux bouées Viking du SOO classées en fonction de la distance par rapport au détroit de Cabot.	14
Figure 4. Proportion mensuelle de jours d'observation avec appel de contact de la BNAN de 2015 à 2022 aux stations de SAP sur le fond marin où l'occurrence est fréquente, classées en fonction de la distance par rapport au détroit de Cabot.	15
Figure 5. Proportion mensuelle de jours d'observation avec appel de contact de la BNAN de 2019 à 2022 aux bouées Viking du SOO où l'occurrence est fréquente, classées en fonction de la distance par rapport au détroit de Cabot.....	16
Figure 6. Proportion mensuelle de jours d'observation avec appel de contact de la BNAN de 2015 à 2022 selon les ensembles de données provenant des bouées Viking et des stations de SAP sur le fond dans le sud-ouest du golfe du Saint-Laurent (stations A à F et 3 à 6), au nord-ouest de l'Île d'Anticosti (stations G et 11) et toutes les stations des deux régions regroupées. 17	
Figure 7. Cartes mensuelles de la proportion moyenne de jours d'observation avec appel de contact de la BNAN dans le golfe du Saint-Laurent de 2015 à 2022 à partir du réseau de stations de SAP sur le fond, $p_n(s,m)$, (Éq. 3a).....	18
Figure 8. Cartes mensuelles de la proportion moyenne de jours d'observation avec appel de contact de la BNAN dans le golfe du Saint-Laurent de 2019 à 2022 à partir du réseau de bouées Viking du SOO, $p_n(s, m)$, (Éq. 3b).....	19
Figure 9. Cartes mensuelles de la proportion moyenne de jours d'observation avec appel de contact de la BNAN dans le golfe du Saint-Laurent de 2015 à 2022 à partir du réseau de bouées Viking du SOO (cercles), $p_n(s,m)$, (Éq. 3b), et du réseau de stations de SAP sur le fond (étoiles), $p_n(s, m)$, (Éq. 3a).	20
Figure 10. Panneau inférieur : distribution des probabilités et des probabilités cumulatives de la proportion quotidienne moyenne de jours d'observation avec appel de contact de la BNAN au cours du cycle annuel – distribution des probabilités cumulatives de $p_{nn}(j)$ (Éq. 7; ligne bleue), distribution des probabilités de $p_{nn}(j)$ (ligne rose) et $p_{nn}(j)$ filtrée (gaussienne à 28 jours; ligne rouge en gras) – dans le golfe du Saint-Laurent à partir du réseau de stations de SAP sur le fond marin de 2015 à 2022. Panneau supérieur : proportions correspondantes de jours d'observation, $p_n(j)$, à l'échelle du réseau de stations de SAP (Éq. 8).	21
Figure 11. Exemples de spectrogrammes de 10 à 500 Hz d'appels de contact de la BNAN (flèches), enregistrées à la station 4 située dans la vallée de Shediac le 2 août 2021. Fenêtre de Hanning, résolution de 0,26 s x 3,9 Hz.	25
Figure 12. Performances de détection de la version 2.0 (\oplus) de l'algorithme d'intelligence artificielle du RNPC-AI pour les appels de contact de la BNAN qui est utilisée dans le présent document, superposées aux courbes opérationnelles pour les indices de performance de	

rappel (R) et de précision *(P) de la version 1.0 estimées avec le même ensemble de données (Kirsebom et al. 2020, figure 8a).....26

Figure 13. Exemples de spectrogrammes de 10 à 500 Hz de chants de baleine à bosse (panneau supérieur, rectangles tiretés) comprenant des séries d'appels de contact (zoom, panneau inférieur, flèches) semblables à celles de la BNAN, enregistrés à la station 1 située dans le détroit de Cabot le 11 novembre 2010. Fenêtre de Hanning, résolution de 0,25 s x 4 Hz.27

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Coordonnées des stations SAP déployées avec des mouillages de type I sur le fond marin*.....22

Tableau 2. Coordonnées des stations SAP déployées à partir des bouées de surface Viking du SOO*.....22

Tableau 3. Instruments acoustiques et réglages utilisés dans les deux ensembles de stations.23

Tableau 4. Fenêtres temporelles de l'occurrence de la BNAN dans le golfe du Saint-Laurent sur le cycle annuel et date d'occurrence médiane extraite de la distribution des probabilités cumulatives de jours d'observation avec occurrence de la BNAN à l'échelle du réseau de stations SAP sur le fond marin entre 2015 et 2022 (cf. figure 10)24

RÉSUMÉ

Les enregistrements faits par le réseau de stations de surveillance par acoustique passive (SAP) déployées dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent pour détecter les mammifères marins et évaluer le bruit ambiant ont été analysés afin d'extraire le profil spatio-temporel de l'utilisation de l'habitat par la baleine noire de l'Atlantique Nord (BNAN) de 2010 à 2022. Les données de 24 027 jours d'observation, enregistrées à 12 stations de SAP sur le fond marin et 8 bouées d'un système d'observation de l'océan (SOO), ont été traitées pour détecter des appels de contact de la BNAN à l'aide d'un algorithme d'intelligence artificielle (IA) précédemment développé pour cet écosystème.

L'occurrence de la BNAN dans cette mer intérieure marginale de l'Atlantique Nord-Ouest pendant la période sans glace est passée d'occasionnelle à fréquente en 2015. Des niveaux d'occurrence élevés ont été maintenus par la suite. Bien que des appels de contact de la BNAN aient été détectés dans une grande partie du golfe, elles étaient très rares en dehors du plateau du sud du golfe et du nord-nord-ouest de l'Île d'Anticosti.

Si l'on ne tient pas compte des occurrences rares, la saison d'occurrence moyenne commençait à la fin d'avril et se terminait au début de décembre. La majorité des occurrences annuelles (90 % des jours d'occurrence) avaient lieu entre le 5 juin et le 2 novembre. Les détections de la BNAN dans le golfe par notre réseau de stations SAP culminaient à la mi-août. Le profil spatial général établi persistait ensuite jusqu'en novembre. Il comprenait deux zones principales : le plateau du sud-ouest du golfe du Saint-Laurent, où la plupart des occurrences ont été observées, et la zone située au nord-nord-ouest de l'Île d'Anticosti, où les niveaux d'occurrence étaient plus faibles. Les occurrences dans la vallée de Shediac dominaient tout au long de la saison. La variabilité de l'occurrence aux stations à l'intérieur d'une saison et entre les saisons était commune. Les proportions de l'occurrence saisonnière dans le golfe tout au long de la saison ont été analysées pour déduire le profil moyen saisonnier d'arrivée et de départ de la BNAN, ainsi que pour extraire les dates pertinentes pour la protection de l'espèce et les décisions de gestion.

INTRODUCTION

Du printemps à l'hiver, depuis 2015, le golfe du Saint-Laurent est utilisé comme aire d'alimentation saisonnière par une grande partie de la population de baleine noire de l'Atlantique Nord (BNAN) (Simard *et al.* 2019), qui compte actuellement environ 350 individus (Linden 2023) et qui est désignée comme une espèce en voie de disparition (Cooke 2020; COSEPAC 2013; MPO 2014). Une analyse des données de marquage-recapture de 2015 à 2019 (Crowe *et al.* 2021) a permis d'estimer qu'environ 40 % de la population utilise maintenant cette partie de son domaine vital dans l'Atlantique Nord, repoussant vers le nord son aire de répartition principale habituelle et ses déplacements saisonniers (Brillant *et al.* 2015; Davis *et al.* 2017; MPO 2014; Kraus et Rolland 2007; Winn *et al.* 1986). Le haut taux de retour interannuel des mêmes individus indique une grande fidélité saisonnière de cette fraction de la population au golfe du Saint-Laurent, avec des séjours individuels durant jusqu'à cinq mois (Crowe *et al.* 2021). L'occurrence saisonnière selon les observations par surveillance acoustique passive (SAP) de 2015 à 2018 a tendance à augmenter de juin à septembre, puis à diminuer pendant l'automne avant de devenir rare après décembre (Simard *et al.* 2019). Ce profil temporel général a également été constaté pour la croissance saisonnière des courbes de découverte d'individus et le nombre cumulatif mensuel d'individus découverts, l'arrivée saisonnière de nouveaux individus s'achevant à la fin du mois d'août (Crowe *et al.* 2021). La majeure partie des détections de BNAN par SAP de 2015 à 2018 a été enregistrée sur le plateau du sud-ouest du golfe, entre la Gaspésie et le détroit de Cabot (Simard *et al.* 2019), mais certaines zones du golfe étaient alors mal couvertes par un réseau épars de stations SAP. À la suite de l'événement de mortalité élevée de la BNAN en 2017 dans le golfe (Daoust *et al.* 2017), l'effort de SAP déployé par Pêches et Océans Canada (MPO) pour la BNAN a été renforcé par l'installation sur le fond marin d'un réseau d'hydrophones demeurant opérationnels tout au long de l'année et l'installation sur des bouées du système d'observation de l'océan (SOO) d'hydrophones équipés de détecteurs en temps réel de la BNAN opérationnels pendant la période sans glace. Ce document présente les nouvelles données fournies par ce réseau d'observation SAP du MPO pour suivre le profil spatio-temporel d'utilisation du golfe du Saint-Laurent par la BNAN depuis 2010. Il complète d'autres efforts visant à suivre l'évolution de cet événement singulier de grande échelle dans l'ensemble de l'Atlantique Nord-Ouest qui force cette petite population de BNAN à changer sa répartition, sous l'effet de la tendance au réchauffement qui a une incidence sur sa proie préférée (Davis *et al.* 2017; Meyer-Gutbrod *et al.* 2021; Plourde *et al.* 2019; Record *et al.* 2019; Roberts *et al.* 2024).

MÉTHODES

RÉSEAU DE STATIONS SAP DÉPLOYÉES DE 2010 À 2022

L'ensemble de données analysé dans le cadre du présent travail a été recueilli par un réseau de stations SAP qui a été progressivement densifié tout au long de la période de 12 ans. Il se compose de deux ensembles de données qui diffèrent par leurs configurations d'enregistrement. Le premier ensemble comprend 12 stations, où des instruments ont été déployés à quelques mètres au-dessus du fond marin en suivant des mouillages océanographiques habituels de type I, avec une ancre, un largueur acoustique, un système d'hydrophone autonome et des flotteurs sub-surface (figure 1, étoiles, illustration; tableau 1). Le deuxième ensemble compte huit stations où un hydrophone était connecté à la bouée de surface du système Viking d'observation de l'océan (SOO) ancrée au fond marin, archivant et transmettant des données en temps réel, via un câble électromécanique de 60 m de long fournissant l'alimentation et la transmission des données acoustiques numériques. Ce câble

flottait à la surface sur la moitié de sa longueur avant de plonger vers un hydrophone lesté à une profondeur nominale d'environ 25 m (figure 1, cercles, photo; tableau 2).

Les emplacements tridimensionnels des stations SAP sur le fond marin ont été optimisés autant que possible pour : 1) placer l'hydrophone dans le canal de son (sound channel) régional, résultant de la présence de la couche intermédiaire froide (CIF) du golfe du Saint-Laurent (cf. Galbraith *et al.* 2023); 2) réduire au minimum le risque de dommages causés accessoirement par la pêche au chalut de fond de la crevette nordique; 3) maximiser le rapport signal-bruit, en éloignant la position de la station de la forte empreinte des voies de navigation bruyantes traversant le golfe (Aulanier *et al.* 2021), qui réduit considérablement la portée de détection des appels de contact de la BNAN par les appareils acoustiques non directionnels (cf. Gervaise *et al.* 2019a, 2019b; Gervaise *et al.* 2021; Simard *et al.* 2019; Simard *et al.* 2022); 4) tenir compte des aires d'alimentation prévues des baleines à fanons et de leurs corridors de migration, et former une grille grossière couvrant entièrement le golfe et l'Estuaire Maritime.

En 2019, la nécessité de disposer de données continues en temps quasi réel sur la présence de la BNAN pour déclencher des mesures de protection de la part du MPO et de Transports Canada dans différentes zones critiques a motivé l'idée d'exploiter le réseau de bouées Viking du SOO en service dans le golfe pour la surveillance océanographique. Une composante acoustique intelligente a été ajoutée aux bouées pour détecter les appels de contact de la BNAN et transmettre l'information en temps quasi réel. Toutes les données acoustiques ont également été stockées simultanément dans les hydrophones et les mémoires du SOO. L'analyse présentée dans ce document utilise ces derniers enregistrements, qui sont plus complets que les données traitées par le SOO qui ont fait l'objet d'interruptions fréquentes. Les emplacements des bouées du SOO ont été choisis en fonction des objectifs de surveillance océanographique, mais plusieurs d'entre eux étaient favorablement placés pour la SAP de la BNAN. Quelques bouées uniquement acoustiques ont été ajoutées afin de densifier le réseau et de couvrir d'autres zones d'agrégation prévues de la proie de la BNAN. Sur les bouées du SOO, la profondeur ciblée de l'hydrophone (environ 25 m) n'atteignait pas le cœur du canal de son de la CIF, mais seulement sa limite supérieure sous la thermocline estivale. La distance horizontale recherchée entre la bouée et l'hydrophone était de 30 m. Cependant, les profondeurs et les distances réelles ont varié par rapport aux objectifs en raison des courants et des forçages météorologiques.

L'acquisition des données acoustiques s'est faite au moyen de quatre systèmes différents ayant des caractéristiques de sensibilité relativement similaires pour l'enregistrement dans la largeur de bande à basse fréquence (BF) des appels de contact de la BNAN (tableau 3, annexe 1, figure 11). Aux stations sur le fond, l'acquisition de données comprenait des périodes de mise en veille horaires dont la durée a été choisie pour maximiser la largeur de bande acoustique enregistrée et la durée de la période d'enregistrement entre les entretiens semestriels ou annuels. Aux bouées Viking du SOO, l'enregistrement était continu et ne couvrait que la période sans glace, de la fin mai ou du début juin jusqu'à novembre.

ANALYSE DES DONNÉES SAP

Le signal enregistré a d'abord été sous-échantillonné à 1 000 échantillons/s, couvrant ainsi une bande acoustique de 0 à 500 Hz, avant d'être traité pour détecter les appels de contact de la BNAN, dont la bande acoustique principale se situe entre 100 et 200 Hz environ (Parks et Tyack 2005; Parks *et al.* 2009) (cf. annexe 1). La détection a ensuite été effectuée à l'aide d'une version améliorée (2.0) de l'algorithme d'intelligence artificielle du réseau neuronal profond convolué (RNPC) développé à partir d'un ensemble de données d'entraînement provenant du golfe du Saint-Laurent (5 962 échantillons) enregistré avec le même appareil et les mêmes paramètres que ceux de la présente étude et 3 000 échantillons provenant de l'Atlantique

(DCLDE 2013) (Kirsebom *et al.* 2020, tableau 2). La version 2.0 de l'algorithme d'intelligence artificielle du RNPC a été entraînée avec un ensemble de données plus important qui comprenait 14 693 échantillons provenant du golfe du Saint-Laurent pour un total de 23 655 échantillons. En utilisant un seuil de détection de 0,7, l'indice de rappel ($R = 0,73$) de la version 2.0 de l'algorithme a été amélioré de 3 % et l'indice de précision ($P = 0,92$), de 7 % par rapport à la version 1.0 testée sur la même série de 50 fichiers de données continues de 30 minutes (Kirsebom *et al.* 2020, figure 8; annexe 2). Tous les appels de contact de la BNAN détectés ont ensuite été validés par un expert formé, avec confirmation par un deuxième expert pour les cas incertains, notamment en cas de chants de baleine à bosse (cf. Annexe 3), et les fausses détections ont été éliminées.

Métriques

Définissons l'indice binaire $d_n(s, j)$ comme les jours d'occurrence d'appel de contact de la BNAN et l'indice binaire $d_o(s, j)$ comme les jours d'observation, où $s = 1, 2, \dots, 12, A, B, \dots, H$ est la station et $j = 1, 2, \dots, N_d$ couvre tous les jours de la série chronologique.

Définissons $d_7(s, w)$ comme le nombre de jours d'occurrence d'appel de contact de la BNAN à la station s au cours de la semaine w , et j_w comme les jours tombant au cours de la semaine w , l'indice pour la série chronologique (figures 2 et 3) est construit comme suit :

$$d_7(s, w) = \sum_{j_w=1}^7 d_n(s, j_w) \quad (1)$$

Pour analyser l'importance de l'occurrence de la BNAN à différentes échelles spatiales et temporelles, la quantité adoptée dans ce rapport est la *proportion de jours d'observation où un appel de contact de la BNAN a été détecté* (p_n). Selon l'échelle d'intérêt, les données sont regroupées dans l'espace (s) et le temps (j), et le nombre total de jours d'occurrence (d_n) et d'observation (d_o) est additionné dans chaque groupe pour obtenir la proportion.

En prenant un groupe dans l'espace R (p. ex. région ou groupe de stations – bouées Viking ou stations SAP sur le fond marin), et un groupe dans le temps T (p. ex. jours Juliens ou mois Julien), $p_n(R, T)$ est obtenue ainsi :

$$p_n(R, T) = \frac{\sum_{s \in R} \sum_{j \in T} d_n(s, j)}{\sum_{s \in R} \sum_{j \in T} d_o(s, j)} \quad (2)$$

Pour construire les cartes présentées aux figures 7 à 9, R est considéré comme une station unique et T est constitué de tous les jours Juliens tombant dans le mois $m(jm)$, toutes les années (y) incluses :

$$p_n(s, m) = \frac{\sum_{y=2015}^{2022} \sum_{jm \in m} d_n(s, y, jm)}{\sum_{y=2015}^{2022} \sum_{jm \in m} d_o(s, y, jm)}, \text{ (stations SAP sur le fond)} \quad (3a)$$

$$p_n(s, m) = \frac{\sum_{y=2019}^{2022} \sum_{jm \in m} d_n(s, y, jm)}{\sum_{y=2019}^{2022} \sum_{jm \in m} d_o(s, y, jm)}, \text{ (bouées Viking)} \quad (3b)$$

Pour les courbes centrales présentées aux figures 4 et 5, les données de toutes les stations d'un type particulier (bouées Viking ou stations SAP sur le fond marin) sont incluses, et la dimension temporelle est divisée en mois (toutes les années sont incluses) :

$$p_n(R, m) = \frac{\sum_{s \in R} \sum_{y=2015}^{2022} \sum_{jm \in m} d_n(s, y, j_w)}{\sum_{s \in R} \sum_{y=2015}^{2022} \sum_{jm \in m} d_o(s, y, j_w)} \text{ (stations SAP sur le fond)} \quad (4a)$$

$$p_n(R, m) = \frac{\sum_{s \in R} \sum_{y=2019}^{2022} \sum_{jm \in m} d_n(s, y, j_w)}{\sum_{s \in R} \sum_{y=2019}^{2022} \sum_{jm \in m} d_o(s, y, j_w)} \text{ (bouées Viking)} \quad (4b)$$

tandis que l'ampleur de la variation entre les années est montrée en prenant les valeurs extrêmes (par rapport à y) de :

$$p_n(R \ y \ m) = \frac{\sum_{s \in R} \sum_{j_m \in m} d_n(s \ y \ j_w)}{\sum_{s \in R} \sum_{j_m \in m} d_o(s \ y \ j_w)}, \quad (5)$$

Il en va de même pour la figure 6, où les valeurs R sont définies en fonction des régions géographiques d'intérêt.

Enfin, la figure 10 ne comprend que les données des stations SAP sur le fond de 2015 à 2022 et les jours sont regroupés en fonction du jour Julien (quelle que soit l'année) :

$$p_n(j) = \frac{\sum_{s=1}^{12} \sum_{y=2015}^{2022} d_n(s \ y \ j)}{\sum_{s=1}^{12} \sum_{y=2015}^{2022} d_o(s \ y \ j)}, \quad (6)$$

et ce dernier est ensuite normalisé pour que la somme soit égale à 1 :

$$pn_n(j) = \frac{p_n(j)}{\sum_{j=1}^{366} p_n(j)}, \quad (7)$$

La distribution normalisée correspondante des jours d'observation par jour Julien est donnée par :

$$pn(j) = \frac{\sum_{s=1}^{12} \sum_{y=2015}^{2022} d_o(s \ y \ j)}{\sum_{j=1}^{366} \sum_{s=1}^{12} \sum_{y=2015}^{2022} d_o(s \ y \ j)}, \quad (8)$$

RÉSULTATS

EFFORT D'OBSERVATION ACOUSTIQUE ET TAUX D'OCCURRENCE

Le nombre de jours d'observation par SAP aux 12 stations sur le fond marin entre 2010 et 2022 a varié de 353 à 4 391 (tableau 1). Le nombre de jours d'observation cumulé pour toutes les stations et toutes les années (24 027 jours) représente un défi de traitement de mégadonnées d'enregistrements acoustiques. Le nombre de jours avec occurrence d'appel de contact de la BNAN aux 12 stations a varié de 0 à 534. La proportion correspondante de jours avec occurrence d'appel de contact de la BNAN a varié de 0 à 25 %. Elle a dépassé 1 % à seulement 6 des 12 stations; 5 d'entre elles (stations 2 à 6) étaient situées dans le sud-ouest du golfe et sur le talus sud adjacent du chenal Laurentien, et l'autre (station 11) était située sur le versant nord du bassin d'environ 200 m de profondeur, au nord-ouest de l'Île d'Anticosti (figure 1). De rares occurrences d'appel de contact de la BNAN ont été détectées à 2 des 6 autres stations, et aucune n'a été détectée à 4 stations (stations 7, 9, 10 et 12). Malgré leur rareté, ces quelques détections dispersées de la BNAN indiquent que l'espèce a fréquenté des zones autres que celles qu'elle fréquente souvent au cours de la période d'observation.

Les observations par des bouées Viking du SOO pendant environ 7 mois par an (hiver exclu) n'ont commencé qu'en 2019. Le nombre de jours d'effort de SAP aux 8 stations a varié de 114 à 663 (tableau 2). Le nombre cumulé de jours d'observation sur l'ensemble des stations de 2019 à 2022 était de 3 413. La proportion de jours avec occurrence d'appel de contact de la BNAN aux stations a varié de 2,2 à 51,8 %. Ces valeurs sont plus élevées que celles des stations SAP sur le fond marin, en partie parce que la saison d'échantillonnage s'est concentrée sur la période et les zones d'occurrence saisonnière fréquente de la BNAN.

SÉRIE CHRONOLOGIQUE DE L'OCCURRENCE D'APPELS DE CONTACT DE LA BNAN AUX STATIONS

La série chronologique de l'occurrence d'appels de contact de la BNAN aux stations indique que le niveau élevé de fréquentation du golfe du Saint-Laurent après 2015 rapporté par Simard et ses collaborateurs (2019) s'est poursuivi jusqu'en 2022 (figure 2, figure 3). Les stations affichant des données d'occurrence stables pendant la période sans glace étaient celles situées sur le plateau du sud-ouest du golfe (stations 3 à 5, E et F). Ces dernières sont alignées le long de la vallée de Shediac, depuis son embouchure, sur le talus sud du chenal Laurentien, jusqu'à sa tête, au large de la péninsule de Shediac (figure 1). Le profil d'occurrence saisonnière a varié d'une année à l'autre, tant pour les stations où les occurrences étaient constantes (p. ex. les stations 4, 6, E et F) que pour celles où les occurrences étaient moins fréquentes (p. ex. les stations 3, 11, A, C, G). Cette variabilité spatio-temporelle au cours d'une saison et d'une année à l'autre indique un comportement général de séjours prolongés dans des zones particulières, combiné à des déplacements à mésoéchelle (plus de 25 km environ).

La proportion annuelle de jours d'occurrence d'appel de contact de la BNAN par mois aux stations à occurrence fréquente résume le profil général spatio-temporel annuel depuis 2015 (figure 4, figure 5, figure 6). Pour les deux ensembles de données, l'occurrence saisonnière moyenne était la plus élevée aux stations situées à la tête de la vallée de Shediac (stations 4 et E) et sa croissance avait tendance à commencer et à culminer environ un ou deux mois plus tôt qu'aux stations situées plus près du chenal Laurentien (stations 2, 3, 6 et F). L'occurrence aux trois stations sur le plateau du sud du golfe, à l'est de la vallée de Shediac (stations B, C et D), semblait culminer à peu près au même moment que pour les stations 4 et E, ou avec un léger retard, mais leur déploiement plus récent rend la comparaison incertaine. L'occurrence faible, mais récurrente à la station 2, sur le talus du chenal Laurentien, à l'est des Îles-de-la-Madeleine, commence dès avril, mais ses valeurs maximales se produisent plus tard en été et en automne. De même, l'occurrence à la station la plus au sud (station A), à mi-chemin entre l'Île-du-Prince-Édouard et les Îles-de-la-Madeleine, était plus élevée d'août à octobre. La période de forte fréquentation de deux mois (août à octobre) à deux autres stations affichant une occurrence notable (stations 11 et G situées dans le nord du golfe) semblait être retardée d'environ un mois par rapport à celle aux stations situées dans le sud du golfe (figure 6).

CARTES DE L'OCCURRENCE MENSUELLE DES APPELS DE CONTACT DE LA BNAN

Les cartes montrant la proportion moyenne de jours d'occurrence d'appel de contact de la BNAN par mois aux stations de 2015 à 2022 résument le profil de répartition saisonnière (figure 7, figure 8, figure 9). Quelques détections ont lieu dès avril (figure 7; avril), en particulier dans le sud-ouest du golfe; en mai, la proportion moyenne de jours d'occurrence d'appel de contact de la BNAN a atteint 20 % à 2 stations (figure 7, figure 8; mai). Des BNAN ont également été détectées à la pointe ouest de l'Île d'Anticosti (figure 8; mai). Un profil d'occurrence similaire est observé en juin alors que la proportion de jours d'occurrence dépasse 70 % à la tête de la vallée de Shediac (figure 7, figure 8; juin). En juillet, les proportions de jours d'occurrence aux stations augmentent d'environ 10 à 20 %; celles à la station G située à l'ouest de l'Île d'Anticosti atteignent 10 % et celles à la tête de la vallée de Shediac, 90 % (figure 7, figure 8; juillet). En août, l'occurrence saisonnière atteint son maximum; la proportion de jours d'occurrence aux stations sur le plateau du sud-ouest du golfe dépasse 90 %, la station 11 située au nord-ouest de l'Île d'Anticosti enregistre ses premières occurrences avec une proportion de près de 20 %, et l'occurrence augmente à la station A située entre l'Île-du-Prince-Édouard et les Îles-de-la-Madeleine. (figure 7, figure 8; août). Les niveaux d'occurrence restent élevés en septembre, mais la diminution des niveaux d'occurrence saisonnière commence

lentement, alors que la station A atteint ses niveaux maximaux et que des niveaux notables persistent à la station G située à l'ouest de l'Île d'Anticosti (figure 7, figure 8; septembre). Les niveaux d'occurrence saisonnière culminent à cette dernière station en octobre, où la proportion de jours d'occurrence dépasse 25 % (figure 8; octobre), alors que la diminution se poursuit aux autres stations. La diminution se poursuit en novembre, alors que le niveau moyen d'occurrence à la station 5 dans la vallée de Shediac dépasse toujours 50 % (figure 7; novembre), et seulement quelques stations enregistrent des occurrences en décembre (figure 7; décembre).

En résumé, le profil spatio-temporel moyen observé à l'échelle du réseau de stations SAP est cohérent avec une immigration commençant par quelques rares détections de BNAN dès le mois d'avril, la détection d'appels de contact se produisant rapidement dans le sud-ouest du golfe. C'est en mai, cependant, que la proportion de jours d'occurrence d'appel de contact de la BNAN indique que le golfe commence vraiment à être colonisé. Cette proportion augmente ensuite et le patron spatial général se maintient pendant tout l'été et l'automne. Une proportion importante de jours d'occurrence d'appel de contact de la BNAN est observée à toutes les stations sur le plateau et la bordure du plateau, avec une persistance des niveaux les plus élevés enregistrés dans la vallée de Shediac. La phase d'augmentation des observations SAP culmine en août, avant de passer à une phase de diminution jusqu'à la disparition des détections d'appel de contact de la BNAN en décembre, à l'exception de quelques rares occurrences. Pendant ce temps, la proportion de jours d'occurrence d'appel de contact de la BNAN dans la zone au nord-ouest de l'Île d'Anticosti suit le même patron saisonnier que sur le plateau du sud-ouest du golfe, mais à des niveaux plus bas, avec un début en mai, un maintien de niveaux modérés tout au long de l'été et de l'automne, et des niveaux un peu plus élevés en août et en octobre.

PROPORTION SAISONNIÈRE DES JOURS D'OCCURRENCE D'APPEL DE CONTACT DE LA BNAN ET PHASES D'ARRIVÉE ET DE DÉPART

La proportion cumulative de jours d'occurrence d'appel de contact de la BNAN au cours du cycle annuel dans le golfe du Saint-Laurent a été compilée en intégrant les observations par le réseau de stations SAP sur le fond marin de 2015 à 2022, soit la période d'occurrence saisonnière stable (figure 10, panneau supérieur, ligne bleue). Cet ensemble de données de SAP provenant des stations sur le fond comporte des observations sur l'ensemble de l'année, contrairement à l'ensemble de données provenant des bouées Viking du SOO, et l'effort mensuel est relativement uniforme tout au long de l'année ($1\,149 \pm 53$ (ET) j/m; $37,7 \pm 1,7$ (ET) j/j Julien; figure 10, panneau supérieur, ligne rouge). Par conséquent, la courbe de la proportion cumulée de l'occurrence tout au long de l'année (figure 10, panneau inférieur, ligne bleue; équation 7) ne dépend pas des variations des jours d'observation au cours du cycle annuel, et la stabilité relative de la proportion saisonnière des jours d'occurrence d'appel de contact de la BNAN au cours de la série chronologique pluriannuelle permet d'interpréter les courbes comme une approximation de l'occurrence saisonnière moyenne de la BNAN selon la SAP dans l'ensemble du golfe.

Par exemple, 2,5 % de l'occurrence annuelle cumulative des appels de contact de la BNAN est atteinte le 25 mai (tableau 4). La fenêtre temporelle de la majeure partie de l'occurrence (occurrence annuelle cumulative de 50 %) se situe entre le 16 juillet et le 18 septembre. L'occurrence saisonnière culmine le 17 août. Le taux de variation pendant les phases d'augmentation et de diminution de l'occurrence n'est pas monotone (figure 10, ligne rouge), mais cela pourrait résulter de la variabilité spatio-temporelle des observations (figure 10, panneau supérieur, courbe rouge).

DISCUSSION

ATTÉNUATION DES LIMITATIONS DE L'ENSEMBLE DE DONNÉES

Les données des 20 stations SAP de 2010 à 2022, représentant un total de 65,8 années de jours d'observation, font partie des ensembles de mégadonnées que les technologies d'aujourd'hui génèrent. Grâce au début précoce de la collecte de données, cet ensemble comporte une quantité considérable d'informations permettant de suivre les changements dans l'écosystème du golfe du Saint-Laurent à une échelle de temps décennale, notamment le suivi du changement survenu en 2015 dans l'utilisation de ressources du golfe par la BNAN (Simard *et al.* 2019). Les données à long terme regroupées dans ce document ont été acquises dans le contexte de plusieurs projets particuliers de recherche dédiée et n'ont donc pas été systématiquement planifiées pour englober une surveillance dans l'ensemble du golfe du Saint-Laurent. Par conséquent, l'effort d'échantillonnage a varié au fil des années et la couverture spatiale a connu une intensification marquée après l'événement de mortalité élevée de la BNAN en 2017 dans le golfe (Daoust *et al.* 2017). Cette variation de l'intensité d'échantillonnage dans le temps et l'espace doit être soigneusement prise en compte pour éviter de mal interpréter les résultats qui pourraient découler d'un échantillonnage non uniforme. De même, la stationnarité supérieure dans la série chronologique des jours d'occurrence d'appel de contact de la BNAN dans les zones les plus fréquentées après 2015 (figure 2) nous a contraints à ne conserver que le segment des années postérieures à 2015 pour certaines analyses.

D'autres particularités connues de l'échantillonnage par SAP dans des écosystèmes océaniques, où les effets de propagation tridimensionnelle et les rapports signal-à-bruit variables influent sur la probabilité de détection à un point de mesure donné (p. ex. Davis *et al.* 2017; Gervaise *et al.* 2021; Simard *et al.* 2008; Simard *et al.* 2019; Simard *et al.* 2022), ont été largement atténuées par le choix d'une métrique grossière d'occurrence temporelle des jours avec détection d'appel de contact de la BNAN. Un seul appel de contact suffit alors pour obtenir un jour d'occurrence. Cela a pour effet d'améliorer la visibilité et la continuité des événements rares, ce qu'il faut garder à l'esprit lors de l'interprétation de la série chronologique de l'occurrence. Un tel effet est clairement visible dans la série chronologique des jours d'occurrence d'appel de contact de la BNAN par semaine à la station 2 (figure 2). L'utilisation d'une métrique plus fine, comme le nombre d'heures avec occurrence d'appel de contact de la BNAN par jour dans Simard *et al.* (2019), diminue la visibilité et la continuité de l'occurrence des appels de contact de la BNAN à cette station. De même, le changement de 2015 dans l'occurrence des appels de contact de la BNAN dans la vallée de Shediac a varié d'un facteur de 3 ou 4 pour la proportion de jours d'occurrence d'appel de contact de la BNAN à un facteur supérieur à 10 pour le nombre de détections ou d'heures avec occurrence d'appel de contact de la BNAN par jour (voir les tableaux 1 et 2 dans Simard *et al.* 2019). Ce traitement de données par l'emploi d'une métrique d'occurrence grossière réduit également la possible petite contribution à la variabilité qui pourrait résulter des différents systèmes d'enregistrement utilisés, dont les caractéristiques ont par ailleurs été sélectionnées pour obtenir une sensibilité acoustique similaire. De même, l'utilisation de la métrique de jours d'occurrence réduit au minimum les effets possibles de la variabilité spatio-temporelle connue dans les taux de vocalisations de la BNAN (Davis *et al.* 2023; Franklin *et al.* 2022; Matthews *et al.* 2001; Matthews et Parks 2021; Parks *et al.* 2011). Afin d'optimiser la détectabilité des appels de contact de la BNAN se propageant, la position tridimensionnelle des points de collecte de données a été soigneusement choisie au cœur du canal de propagation lié à la CIF régionale et loin de la voie maritime du Saint-Laurent où l'empreinte du bruit des navires marchands dans la bande de fréquence des appels de contact de la BNAN (Simard *et al.* 2016) nuit à la détection par SAP. Leur détection a ensuite été maximisée en utilisant la version 2.0 de l'algorithme d'intelligence artificielle du RNPC ciblant les appels de contact de la BNAN, optimisée pour le

paysage sonore ambiant du golfe du Saint-Laurent, qui a produit les indices de performance de rappel et de précision les plus élevés (cf. annexe 2). La validation de toutes les détections par un ou deux experts a permis de filtrer toutes les fausses détections, y compris les appels de contact similaires produits par la baleine à bosse (p. ex. annexe 3).

Nous sommes donc confiants que l'information présentée ici sur l'utilisation à mésoéchelle de l'habitat par la BNAN dans l'écosystème du Saint-Laurent tout au long du cycle annuel depuis 2015 est robuste aux limites de l'ensemble de données analysées et aux biais possibles découlant du traitement méthodologique de la variabilité spatiale et temporelle multi-échelle inhérente.

OÙ ET QUAND LA BNAN UTILISE LE GOLFE DU SAINT-LAURENT

Malgré le plan d'échantillonnage non systématique ou aléatoire et le nombre limité de stations, l'ensemble de données des stations SAP sur le fond marin offre une couverture raisonnable de toutes les régions du golfe du Saint-Laurent et de l'Estuaire Maritime, en mettant l'accent sur les zones de forte occurrence de la BNAN, pour la période de fréquentation assidue de cet écosystème pendant la saison sans glace après 2015. Le portrait de l'utilisation de cet habitat productif particulier de l'Atlantique Nord-Ouest par l'espèce peut être résumé par le profil spatio-temporel suivant sur un cycle annuel moyen.

1. Pendant l'hiver, à l'exception de très rares occurrences, des appels de contact de la BNAN n'ont pas été détectés, ce qui ne supporte pas une présence importante de l'espèce dans le golfe pendant cette saison.
2. Les premières occurrences d'appels de contact commencent en avril, sur le plateau du sud-ouest du golfe et le talus du chenal Laurentien, y compris la pointe sud-est de l'île d'Anticosti.
3. Au début de mai, une première vague d'arrivée de la BNAN dans le golfe se produit et dure environ 1,5 mois; il s'agit de la vague d'arrivée saisonnière la plus intense. L'occurrence annuelle cumulative atteint 2,5 % le 27 mai et 5 % le 8 juin. Une deuxième vague d'arrivée survient pendant la première moitié de juillet, au cours de laquelle 25 % de l'occurrence annuelle cumulative est atteinte (17 juillet). L'occurrence continue d'augmenter à un rythme plus lent jusqu'à la mi-août.
4. Pendant la période d'arrivée susmentionnée, le plateau du sud-ouest du golfe est colonisé et les valeurs maximales de l'occurrence sont enregistrées dans la vallée de Shediac. La zone d'occurrence plus faible au nord-ouest de l'île d'Anticosti suit un profil de colonisation temporelle similaire.
5. Ce profil spatial général de l'occurrence de la BNAN persiste alors que la phase de départ se poursuit à un rythme constant jusqu'à la mi-octobre, avant que la diminution de l'occurrence ne soit ralentie pendant environ un mois.
6. Cinq pour cent (5 %) des jours d'observation avec appel de contact de la BNAN se produisent après le 1^{er} novembre, et 2,5 % après le 20 novembre.
7. En décembre, la phase de départ est essentiellement terminée, et seules de rares occurrences sont enregistrées à quelques stations.
8. Pendant la période d'occurrence saisonnière, il existe une variabilité considérable autour du taux d'occurrence moyen aux stations, au cours d'une saison et d'une saison à l'autre.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé avec l'appui du MPO, de subventions à la découverte du CRSNG, de subventions de la Fondation Canadienne pour l'Innovation à Yvan Simard et de la Chaire de recherche du MPO en acoustique sous-marine appliquée aux mammifères marins à l'UQAR-ISMER. Nous sommes reconnaissants envers toutes les personnes et les équipages qui ont participé à la collecte de données en mer et à leur analyse en laboratoire, aux gestionnaires et aux collaborateurs, sans qui le succès de cette recherche multipartenaires et multidisciplinaire n'aurait pas eu lieu.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Aulanier, F., Simard, Y., Lebel, P., Mercure-Boissonneau, P., and Philippe, E. 2021. [Atlas des paysages acoustiques océaniques / Ocean Soundscape Atlas](#). [accessed 2024-02-05].
- Brillant, S.W., Vanderlaan, A.S.M., Rangeley, R.W., and Taggart, C.T. 2015. [Quantitative estimates of the movement and distribution of North Atlantic right whales along the northeast coast of North America](#). *Endang. Sp. Res.* 27(2): 141-154. [accessed 2024-02-05].
- Cooke, J.G. 2020. [Eubalaena glacialis \(errata version published in 2020\)](#). *The IUCN Red List of Threatened Species 2020*: e.T41712A178589687: 18 p.
- COSEPAC. 2013. [Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur la baleine noire de l'Atlantique Nord \(Eubalaena glacialis\) au Canada](#). Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. xi + 63 pp.
- Crowe, L., Brown, M.A., Corkeron, P., Hamilton, P., Ramp, C., Ratelle, S., Vanderlaan, A., and Cole, T. 2021. [In plane sight: a mark-recapture analysis of North Atlantic right whales in the Gulf of St. Lawrence](#). *Endang. Sp. Res.* 46: 227-251.
- Daoust, P.-Y., Couture, E.L., Wimmer, T., et Bourque, L. 2017. Incident Report: North Atlantic right whale mortality event in the Gulf of St. Lawrence, 2017. Collaborative Report Produced by: Canadian Wildlife Health Cooperative and Marine Animal Response Society, and Fisheries and Oceans Canada.
- Davis, G.E., Baumgartner, M.F., Bonnell, J.M., Bell, J., Berchok, C., Bort Thornton, J., Brault, S., Buchanan, G., Charif, R.A., Cholewiak, D., Clark, C.W., Corkeron, P., Delarue, J., Dudzinski, K., Hatch, L., Hildebrand, J., Hodge, L., Klinck, H., Kraus, S., Martin, B., Mellinger, D.K., Moors-Murphy, H., Nieukirk, S., Nowacek, D.P., Parks, S., Read, A.J., Rice, A.N., Risch, D., Širović, A., Soldevilla, M., Stafford, K., Stanistreet, J.E., Summers, E., Todd, S., Warde, A., and Van Parijs, S.M. 2017. [Long-term passive acoustic recordings track the changing distribution of North Atlantic right whales \(Eubalaena glacialis\) from 2004 to 2014](#). *Sci. Rep.* 7(1): 13460.
- Davis, G.E., Tennant, S.C., and Van Parijs, S.M. 2023. [Upcalling behaviour and patterns in North Atlantic right whales, implications for monitoring protocols during wind energy development](#). *ICES J. Mar. Sci.*
- DCLDE. 2013. The 6th International Workshop on Detection, Classification, Localization, and Density Estimation (DCLDE) of Marine Mammals using Passive Acoustics. [accessed 4 Feb. 2024].
- MPO. 2014. [Programme de rétablissement de la baleine noire \(Eubalaena glacialis\) de l'Atlantique Nord dans les eaux canadiennes de l'Atlantique](#). Série de Programmes de rétablissement de la Loi sur les espèces en péril. Pêches et Océans Canada, Ottawa. vi + 72 p.

-
- Franklin, K. J., Cole, T. V. N., Cholewiak, D. M., Duley, P. A., Crowe, L. M., Hamilton, P. K., Knowlton, A. R., Taggart, C. T., Johnson, H. D. et al. 2022. [Using sonobuoys and visual surveys to characterize North Atlantic right whale \(*Eubalaena glacialis*\) calling behavior in the Gulf of St. Lawrence](#). *Endang. Sp. Res.* 49: 159-174.
- Galbraith, P.S., Chassé, J., Shaw, J.-L., Dumas, J., Lefaivre, D., et Bourassa, M.-N. 2023. [Physical oceanographic conditions in the Gulf of St. Lawrence during 2022](#). *Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. Fisheries and Oceans Canada*: v + 88 p.
- Gervaise, C., Simard, Y., Aulanier, F., et Roy, N. 2019a. Optimal passive acoustic systems for real-time detection and localization of North Atlantic right whales in their feeding ground off Gaspé in the Gulf of St. Lawrence. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3345: ix + 58 pp.
- Gervaise, C., Simard, Y., Aulanier, F., et Roy, N. 2019b. Performance study of passive acoustic systems for detecting North Atlantic right whales in seaways: the Honguedo strait in the Gulf of St. Lawrence. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3346: ix + 53 pp.
- Gervaise, C., Simard, Y., Aulanier, F., and Roy, N. 2021. [Optimizing passive acoustic systems for marine mammal detection and localization: Application to real-time monitoring north Atlantic right whales in Gulf of St. Lawrence](#). *Appl. Acoust.* 178: 107949.
- Kirsebom, O.S., Frazao, F., Simard, Y., Roy, N., Matwin, S., and Giard, S. 2020. [Performance of a deep neural network at detecting North Atlantic right whale upcalls](#). *J. Acoust. Soc. Am.* 147(4): 2636-2646.
- Kraus, S.D., and Rolland, R.M. 2007. Right whales in the urban ocean. *In* *The urban whale*. Edited by S.D. Kraus and R.M. Rolland. Cambridge, MA: Harvard. pp. 1-39.
- Linden, D.W. 2023. Population size estimation of North Atlantic right whales from 1990-2022. US Dept. Commer. Northeast Fish. Sci. Center NOAA Tech. Memo. NMFS-NE-314: 14 p.
- Matthews, J.N., Brown, S., Gillespie, D., Johnson, M., McLanaghan, R., Moscrop, A., Nowacek, D., Leaper, R., Lewis, T., and Tyack, P. 2001. Vocalisation rates of the North Atlantic right whale (*Eubalaena glacialis*). *J. Cetacean Res. Manag.* 3(3): 271-282.
- Matthews, L.P., and Parks, S.E. 2021. [An overview of North Atlantic right whale acoustic behavior, hearing capabilities, and responses to sound](#). *Mar. Poll. Bull.* 173: 113043.
- Meyer-Gutbrod, E.L., Greene, C.H., Davies, K.T.A., et Johns, D.G. 2021. [Ocean regime shift is driving collapse of the North Atlantic right whale population](#). *Oceanography* 34(3): 22-31.
- Parks, S.E., and Tyack, P.L. 2005. [Sound production by North Atlantic right whales \(*Eubalaena glacialis*\) in surface active groups](#). *J. Acoust. Soc. Am.* 117(5): 3297-3306.
- Parks, S.E., Urazghildiiev, I., and Clark, C.W. 2009. [Variability in ambient noise levels and call parameters of North Atlantic right whales in three habitat areas](#). *J. Acoust. Soc. Am.* 125(2): 1230-1239.
- Parks, S.E., Johnson, M., Nowacek, D., and Tyack, P.L. 2011. [Individual right whales call louder in increased environmental noise](#). *Biol. Lett.* 7: 33-35.
- Plourde, S., Lehoux, C., Johnson, C.L., Perrin, G., et Lesage, V. 2019. [North Atlantic right whale \(*Eubalaena glacialis*\) and its food: \(I\) a spatial climatology of *Calanus* biomass and potential foraging habitats in Canadian waters](#). *J. Plankton Res.* 41(5): 667-685.

-
- Record, N.R., Runge, J.A., Pendleton, D.E., Balch, W.M., Davies, K.T.A., Pershing, A.J., Johnson, C.L., Stamieszkin, K., Ji, R., Feng, Z., Kraus, S.D., Kenney, R.D., Hudak, C.A., Mayo, C.A., Chen, C., Salisbury, J.E., et Thompson, C.R.S. 2019. [Rapid climate-driven circulation changes threaten conservation of endangered North Atlantic right whales](#). *Oceanography* 32: 162–169.
- Roberts, J. J., Yack, T. M. , Fujioka, E., Halpin, P. N., Baumgartner, M. F., Boisseau, O.. et al. 2024. [North Atlantic right whale density surface model for the US Atlantic evaluated with passive acoustic monitoring](#). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 732: 167-192.
- Simard, Y., Roy, N., and Gervaise, C. 2008. [Passive acoustic detection and localization of whales: Effects of shipping noise in Saguenay–St. Lawrence Marine Park](#). *J. Acoust. Soc. Am* 123(6): 4109-4117.
- Simard, Y., Roy, N., Gervaise, C., and Giard, S. 2016. [Analysis and modeling of 255 source levels of merchant ships from an acoustic observatory along St. Lawrence Seaway](#). *J. Acoust. Soc. Am.* 140(3): 2002-2018.
- Simard, Y., Roy, N., Giard, S., and Aulancier, F. 2019. [North Atlantic right whale shift to the Gulf of St. Lawrence in 2015, revealed by long-term passive acoustics](#). *Endang. Sp. Res.* 40: 271-284.
- Simard, Y., Duquette, K., Royer, P., Roy, N., Rousseau, M., Juif, C., Gervaise, C., et Constans, C. 2022. [Large circular hydrophone arrays for long-range monitoring of North Atlantic right whales: first deployments and testing in the Gulf of St. Lawrence](#). *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3491: viii + 40 p.
- Winn, H.E., Price, C.A., et Sorensen, P.W. 1986. The distributional biology of the right whale (*Eubalaena glacialis*) in the Western North Atlantic. Reports - International Whaling Commission, Special Issue 10: 129-138.

FIGURES

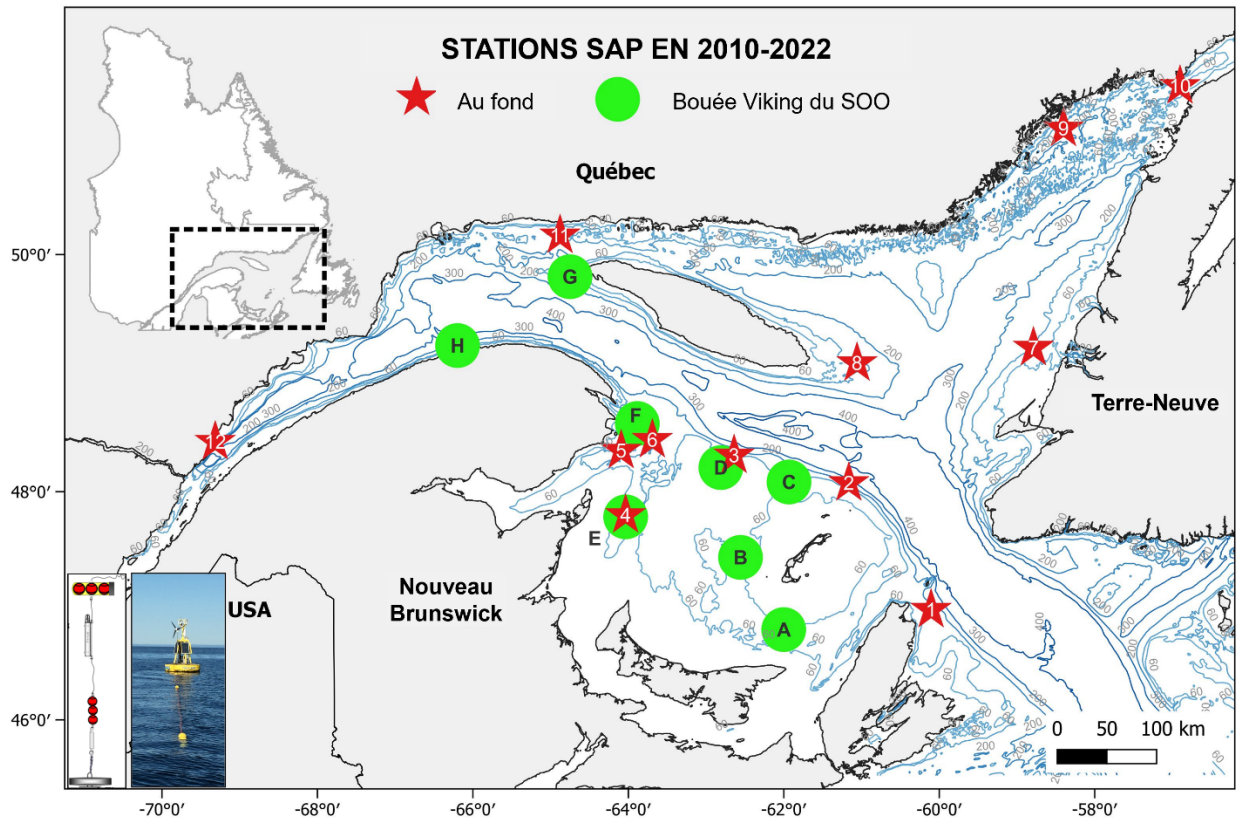


Figure 1. Carte bathymétrique de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent dans l'est du Canada montrant les emplacements où l'on a déployé des stations SAP sur des mouillages démersaux de type I (étoiles numérotées, illustration) et des bouées de surface Viking du SOO (cercles avec une lettre, photo) équipées d'un hydrophone à une profondeur d'environ 25 m. Les étiquettes des stations sont classées en fonction de la distance par rapport au détroit de Cabot.

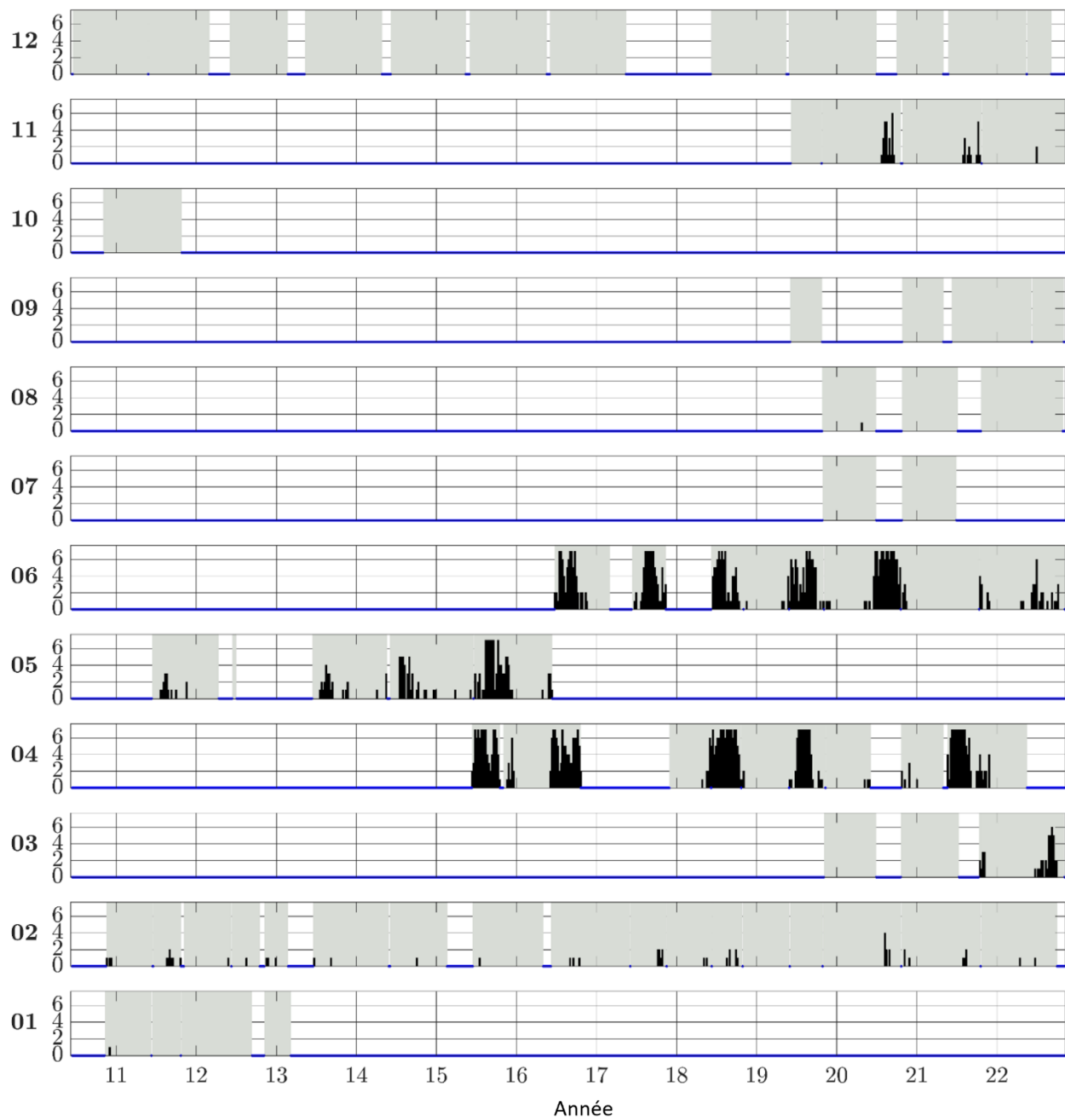


Figure 2. Nombre de jours avec appel de contact de la BNAN par semaine, $d_7(s,w)$, Éq. 1, de 2010 à 2022, aux stations sur le fond marin classées en fonction de la distance par rapport au détroit de Cabot. Les zones grisées indiquent les périodes d'observation.

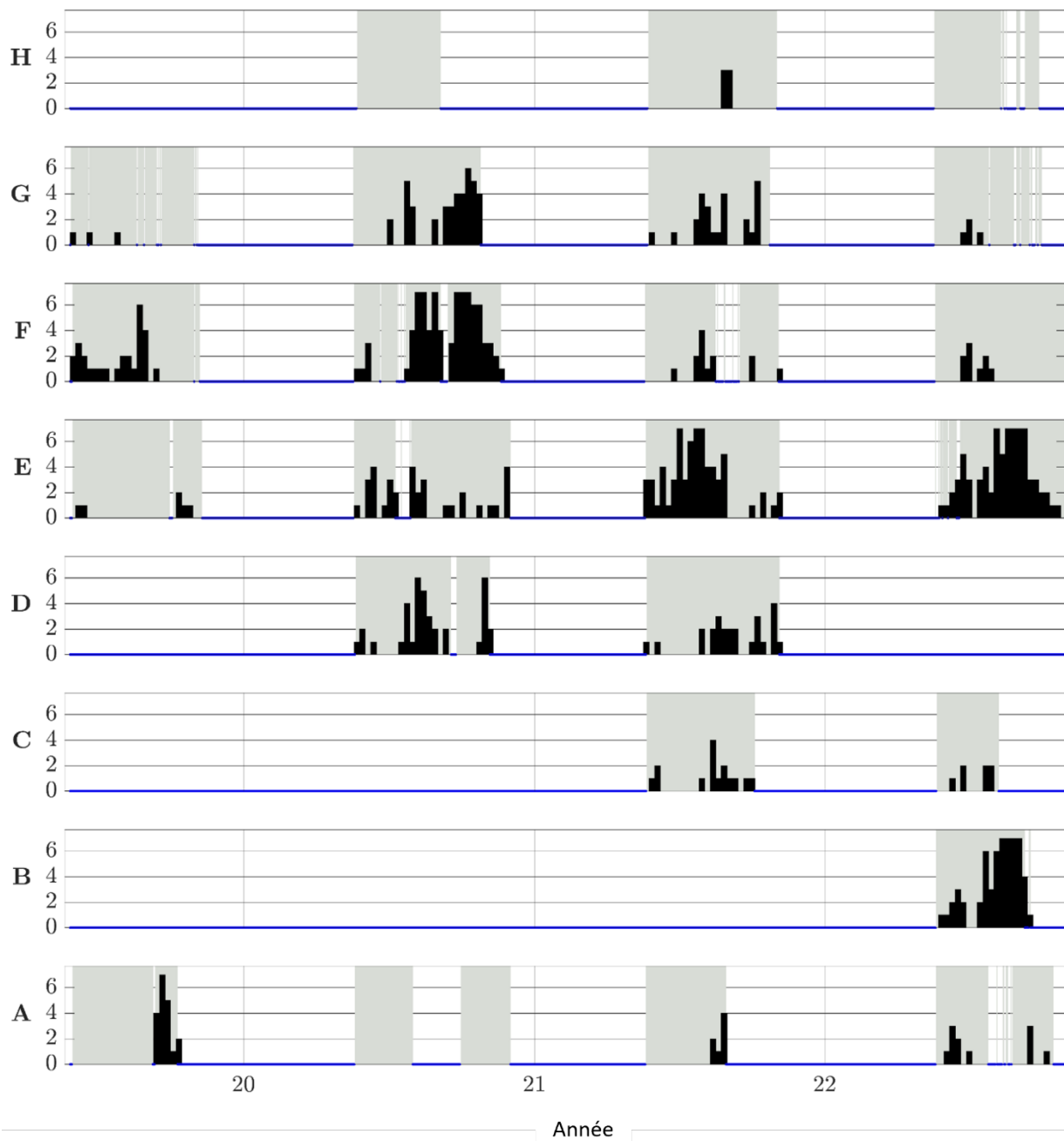


Figure 3. Nombre de jours avec appel de contact de la BNAN par semaine, $d_7(s,w)$, Éq. 1, de 2019 à 2022, aux bouées Viking du SOO classées en fonction de la distance par rapport au détroit de Cabot. Les zones grisées indiquent les périodes d'observation.

Remarque : Exceptionnellement, les résultats présentés pour la station H en 2020 ont été obtenus à l'aide de la version 1 de l'algorithme d'intelligence artificielle du RNPC, au moyen des enregistrements en temps réel, contrairement au reste des données, où le traitement avec la version 2 de l'algorithme d'intelligence artificielle du RNPC a été effectué après l'acquisition, au moyen des fichiers de données stockés dans la mémoire des systèmes d'acquisition.

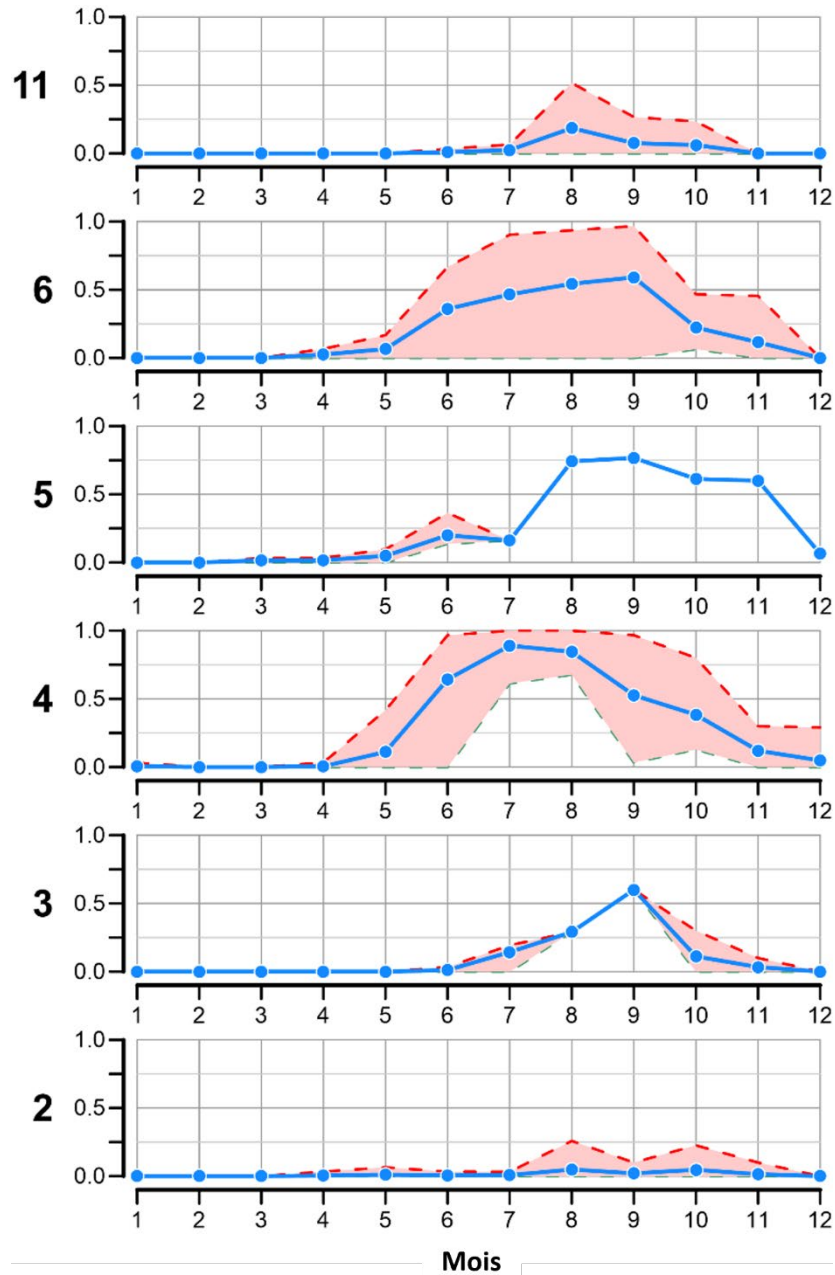


Figure 4. Proportion mensuelle de jours d'observation avec appel de contact de la BNAN de 2015 à 2022 aux stations de SAP sur le fond marin où l'occurrence est fréquente, classées en fonction de la distance par rapport au détroit de Cabot. Ligne bleue avec points : $p_n(R, m)$, Éq. 4a; ligne rouge tiretée : année maximale, $\max(p_n(R, y, m))$, Éq. 5; ligne verte tiretée : année minimale, $\min(p_n(R, y, m))$, Éq. 5; zone rose : intervalle $[\min, \max]$.

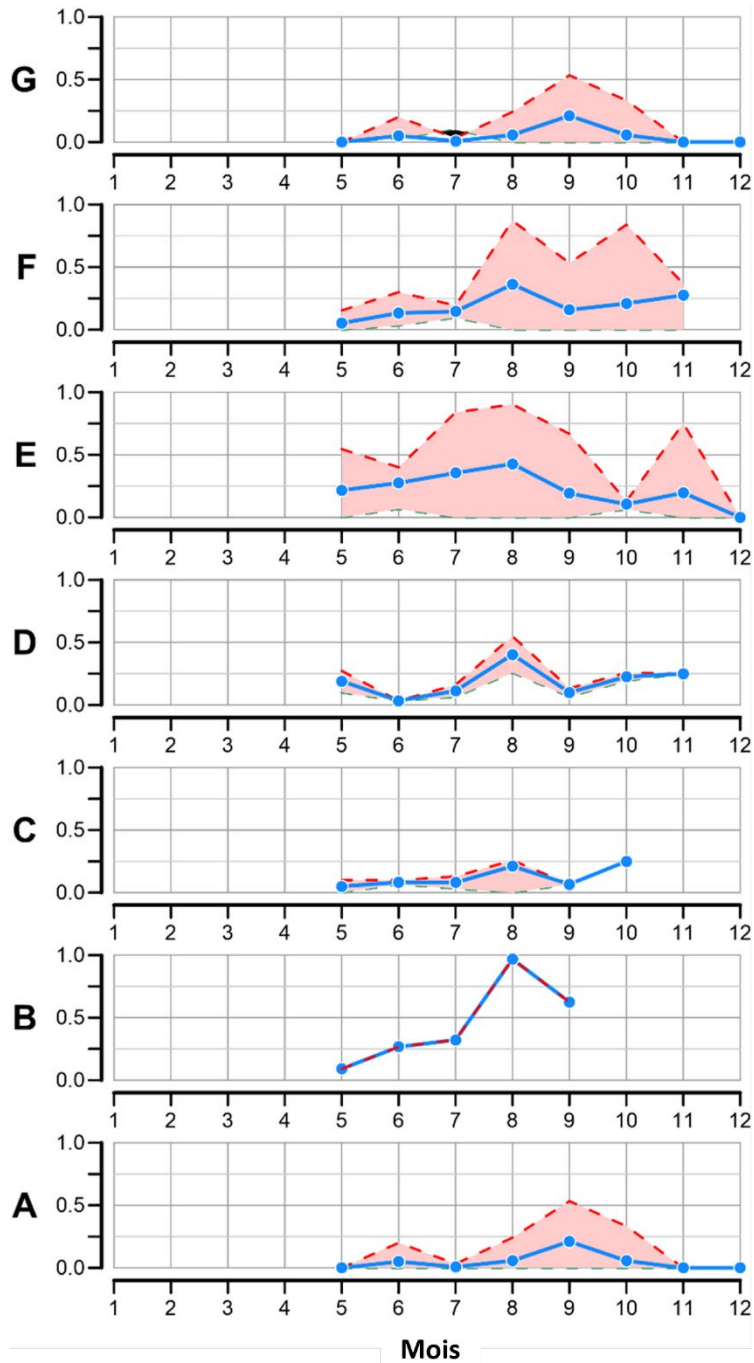


Figure 5. Proportion mensuelle de jours d'observation avec appel de contact de la BNAN de 2019 à 2022 aux bouées Viking du SOO où l'occurrence est fréquente, classées en fonction de la distance par rapport au détroit de Cabot. Ligne bleue avec points : $p_n(R, m)$, Éq. 4b; ligne rouge tiretée : année maximale, $\max(p_n(R, y, m))$, Éq. 5; ligne verte tiretée : année minimale, $\min(p_{nd}(R, y, m))$, Éq. 5; zone rose : intervalle $[\min, \max]$.

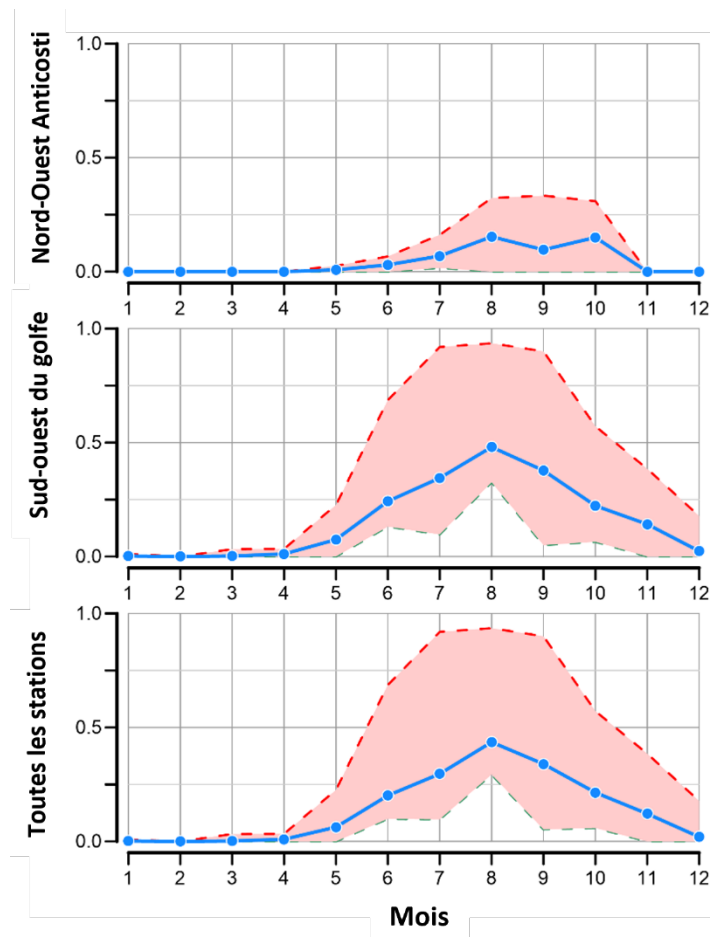


Figure 6. Proportion mensuelle de jours d'observation avec appel de contact de la BNAN de 2015 à 2022 selon les ensembles de données provenant des bouées Viking et des stations de SAP sur le fond dans le sud-ouest du golfe du Saint-Laurent (stations A à F et 3 à 6), au nord-ouest de l'Île d'Anticosti (stations G et 11) et toutes les stations des deux régions regroupées. Même légende que dans les figures 4 et 5, mais pour les stations regroupées par région comme indiqué.
 Remarque : La collecte de données aux stations au nord-ouest de l'Île d'Anticosti a commencé en 2019, tandis qu'elle a commencé en 2015 aux stations dans le sud-ouest du golfe.

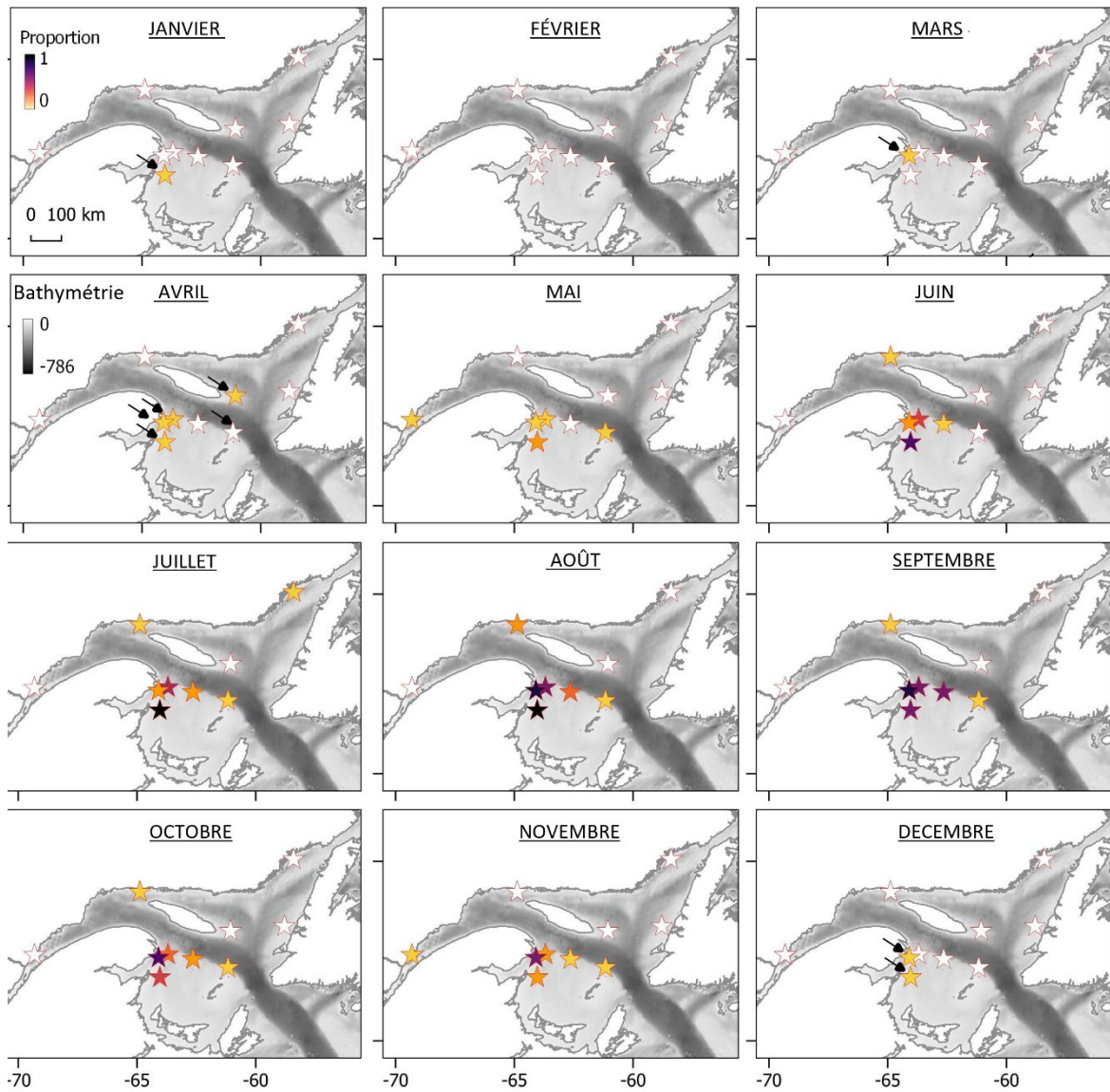


Figure 7. Cartes mensuelles de la proportion moyenne de jours d'observation avec appel de contact de la BNAN dans le golfe du Saint-Laurent de 2015 à 2022 à partir du réseau de stations de SAP sur le fond, $p_n(s,m)$, (Éq. 3a). Hachures grises : bathymétrie en mètres.

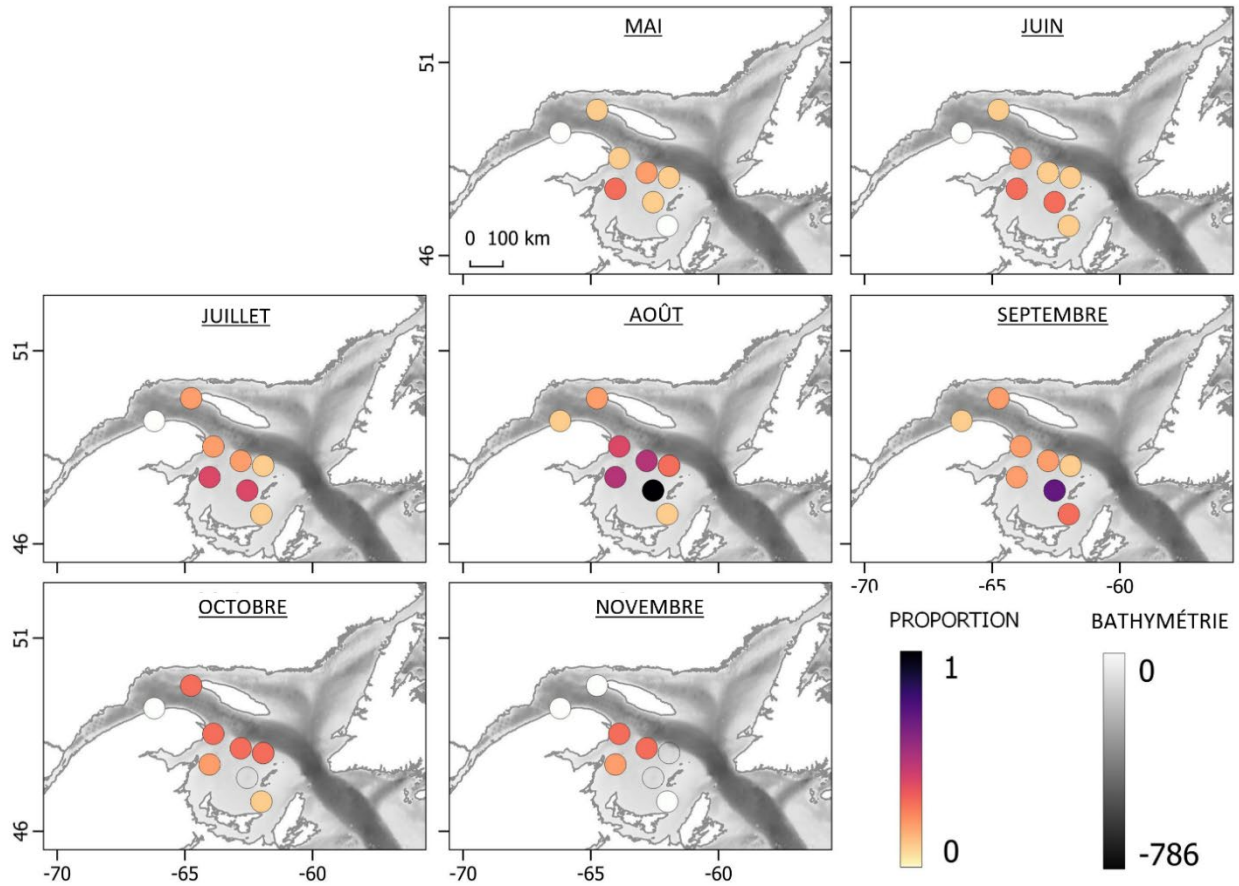


Figure 8. Cartes mensuelles de la proportion moyenne de jours d'observation avec appel de contact de la BNAN dans le golfe du Saint-Laurent de 2019 à 2022 à partir du réseau de bouées Viking du SOO, $p_n(s, m)$, (Éq. 3b). Hachures grises : bathymétrie en mètres.

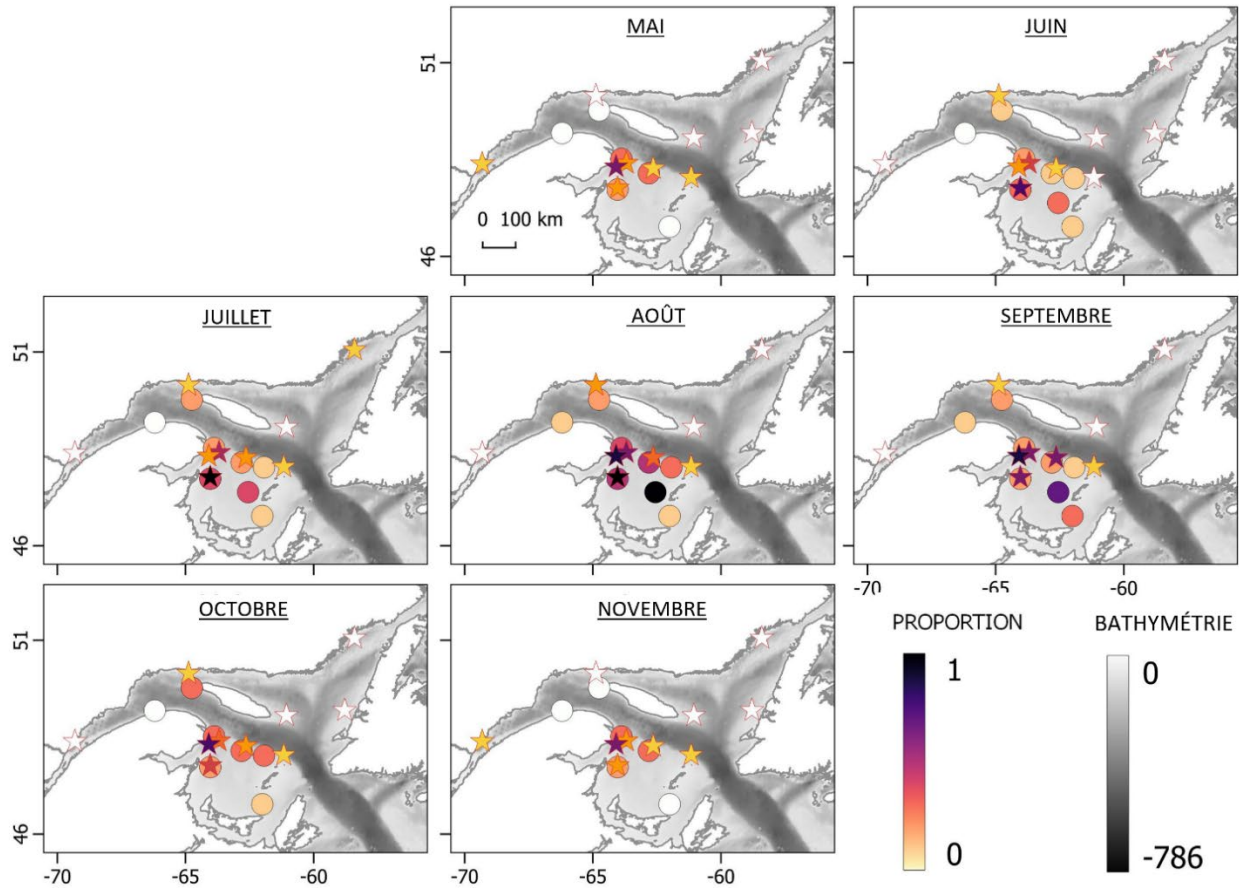


Figure 9. Cartes mensuelles de la proportion moyenne de jours d'observation avec appel de contact de la BNaN dans le golfe du Saint-Laurent de 2015 à 2022 à partir du réseau de bouées Viking du SOO (cercles), $p_n(s,m)$, (Éq. 3b), et du réseau de stations de SAP sur le fond (étoiles), $p_n(s,m)$, (Éq. 3a). Hachures grises : bathymétrie en mètres.

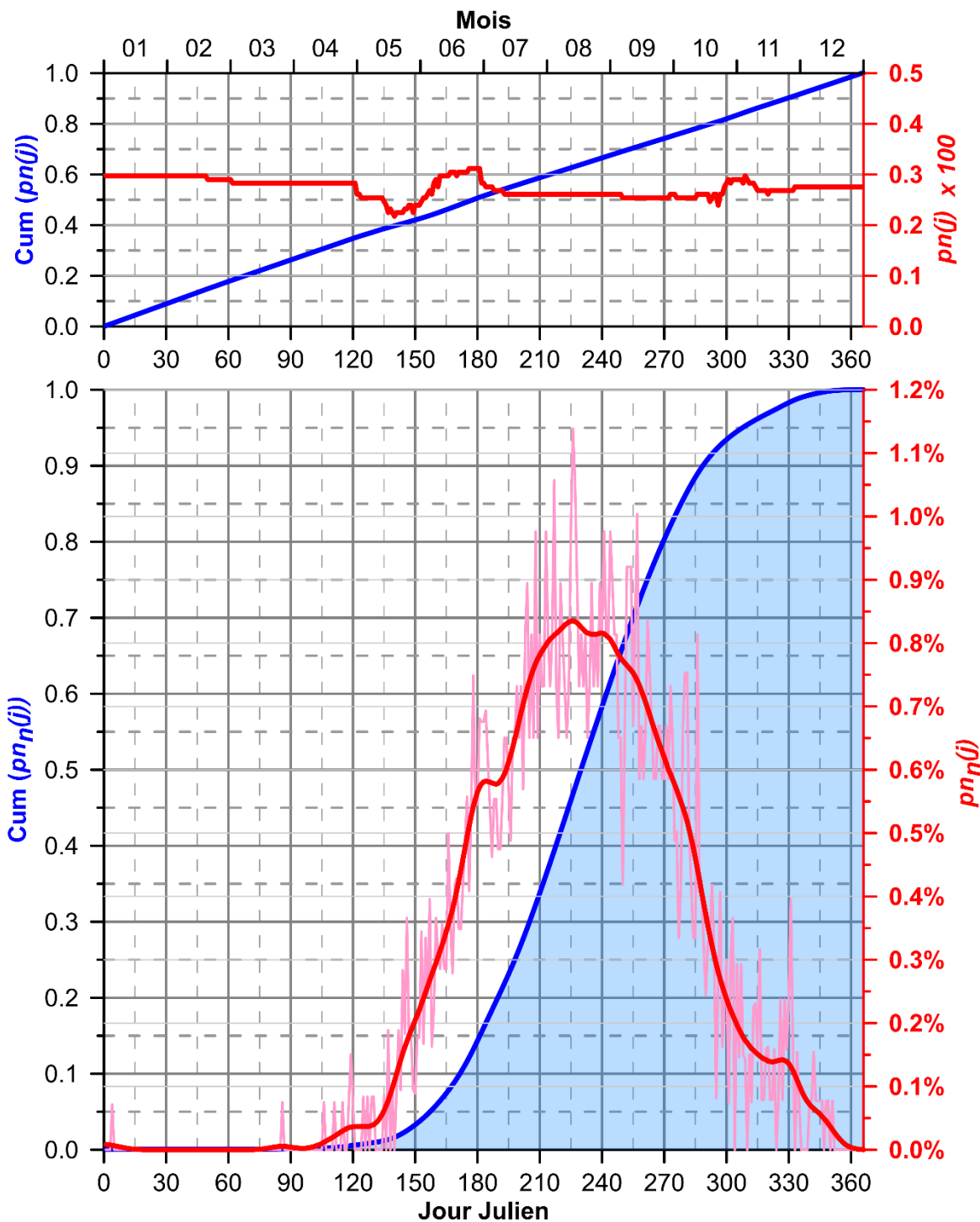


Figure 10. Panneau inférieur : distribution des probabilités et des probabilités cumulatives de la proportion quotidienne moyenne de jours d'observation avec appel de contact de la BNAN au cours du cycle annuel – distribution des probabilités cumulatives de $p_{nn}(j)$ (Éq. 7; ligne bleue), distribution des probabilités de $p_{nn}(j)$ (ligne rose) et $p_{nn}(j)$ filtrée (gaussienne à 28 jours; ligne rouge en gras) – dans le golfe du Saint-Laurent à partir du réseau de stations de SAP sur le fond marin de 2015 à 2022. Panneau supérieur : proportions correspondantes de jours d'observation, $p_n(j)$, à l'échelle du réseau de stations de SAP (Éq. 8).

TABLEAUX

Tableau 1. Coordonnées des stations SAP déployées avec des mouillages de type I sur le fond marin*.

Station	Nom	Latitude	Longitude	Profondeur du fond (m)	Années	Effort (j)	BNAN (j)	BNAN %
12	Escoumins	48° 23,66' N	69° 18,84' W	136	2010-2022	3726	0	0
11	Riv.-au-Tonnerre	50° 07,54' N	64° 52,64' W	121	2019-2022	1551	43	2,8
10	Belle-Isle	51° 20,49' N	56° 54,04' W	110	2010-2011	358	0	0
9	Mécatina	50° 59,95' N	58° 24,01' W	100	2019-2022	1203	0	0
8	Anticosti East	49° 03,69' N	61° 03,40' W	90	2019-2022	1081	1	0,1
7	Bonne Bay shelf	49° 11,48' N	58° 47,21' W	106	2019-2021	496	0	0
6	Percé	48° 24,68' N	63° 41,40' W	109	2016-2022	2218	482	21,7
5	Cap d'Espoir	48° 19,13' N	64° 05,46' W	87	2011-2016	1411	183	13,0
4	Shediac	47° 45,90' N	64° 02,05' W	83	2016-2022	2133	534	25,0
3	Orphelin	48° 16,67' N	62° 38,30' W	103	2019-2021	1251	44	3,5
2	Old Harry	48° 02,47' N	61° 09,73' W	103	2010-2022	4392	54	1,2
1	Cabot	46° 56,40' N	60° 06,24' W	131	2010-2013	794	1	0,1
Total :						20614	1342	6,5

* Emplacements des mouillages de la dernière année.

Tableau 2. Coordonnées des stations SAP déployées à partir des bouées de surface Viking du SOO*.

Station	Nom	Latitude	Longitude	Profondeur du fond (m)	Années	Effort (j)	BNAN (j)	BNAN %
H	IML-7 Courant de Gaspé (CG)	49° 14,53' N	66° 11,80' W	183	2019-2022	378	6	1,6
G	IML-13 Banc Parent (BP)	49° 49,00' N	64° 44,99' W	108	2019-2022	589	73	12,4
F	IML-11 Banc des américains (BA)	48° 35,00' N	63° 53,00' W	163	2019-2022	635	134	21,1
E	IML-6 Shediac valley (VAS)	47° 47,00' N	64° 02,00' W	83	2019-2022	663	183	27,6
D	IML-14 Orphelin	48° 12,44' N	62° 48,51' W	80	2020-2022	329	62	18,8
C	IML-15 Anticosti-Est IML-16 Est du banc	48° 05,00' N	61° 55,90' W	69	2021-2022	214	22	10,3
B	Bradelle (BB)	47° 25,92' N	62° 33,32' W	73	2022-2022	114	59	51,8
A	IML-12 Est du sud du golfe (ESG)	46° 48,00' N	61° 59,98' W	73	2019-2022	491	37	7,5
Total :						3413	576	16,9

* Emplacements des déploiements de 2023.

Tableau 3. Instruments acoustiques et réglages utilisés dans les deux ensembles de stations.

Stations SAP	Enregistreur acoustique
Fond marin	<p>AURAL M2^a avec hydrophone HTI-96 min^b, numérisation 16 bits, gain de l'enregistreur de 16 dB. Sensibilité de réception (RS) (y compris le gain de 36 dB du préamplificateur de l'hydrophone) : -165 re 1 V/μPa sur [0 à 5 kHz]</p> <p>AMAR G4^c avec hydrophone GeoSpectrum M36-C35-100 muni d'un préamplificateur^d de 35 dB, numérisation 24 bits, gain d'enregistreur de 16 dB. Sensibilité de réception (y compris le gain de 35 dB du préamplificateur de l'hydrophone) : -165 dB re 1 V/μPa sur [0 à 5 kHz]</p> <p>RTsys RESEA^e avec hydrophone CO.L.MAR GP1190^f, numérisation 24 bits, pas de gain d'enregistreur. Sensibilité de réception (pas de gain du préamplificateur de l'hydrophone) : -172 dB re 1 V/μPa sur [0 à 5 kHz]</p>
Bouée	Ocean Sonic, icListen, hydrophone numérique 24 bits HF ^g
Viking du	Sensibilité de réception (pas de gain du préamplificateur de l'hydrophone) :
SOO	-169 ± 1 dB re 1 V/μPa sur [0 à 5 kHz]

^a Multi-electronique, Autonomous Underwater Acoustic Recorder for Acoustic Listening Model 2

^b High-Tech Inc., HTI-96 min hydrophone

^c Jasco Applied Sciences, Autonomous Multichannel Acoustic Recorder Generation 4

^d GeoSpectrum Technologies Inc., hydrophone

^e RTsys, RESEA hydrophone

^f CO.L.MAR, GP1190 hydrophone

^g Ocean Sonics, icListen HF smart hydrophone

Tableau 4. Fenêtres temporelles de l'occurrence de la BNAN dans le golfe du Saint-Laurent sur le cycle annuel et date d'occurrence médiane extraite de la distribution des probabilités cumulatives de jours d'observation avec occurrence de la BNAN à l'échelle du réseau de stations SAP sur le fond marin entre 2015 et 2022 (cf. figure 10)

Proportion de l'occurrence annuelle	Date de début	Date de fin
95 %	25 mai	19 novembre
90 %	5 juin	2 novembre
50 %	16 juillet	18 septembre
médiane	17 août	

ANNEXE 1

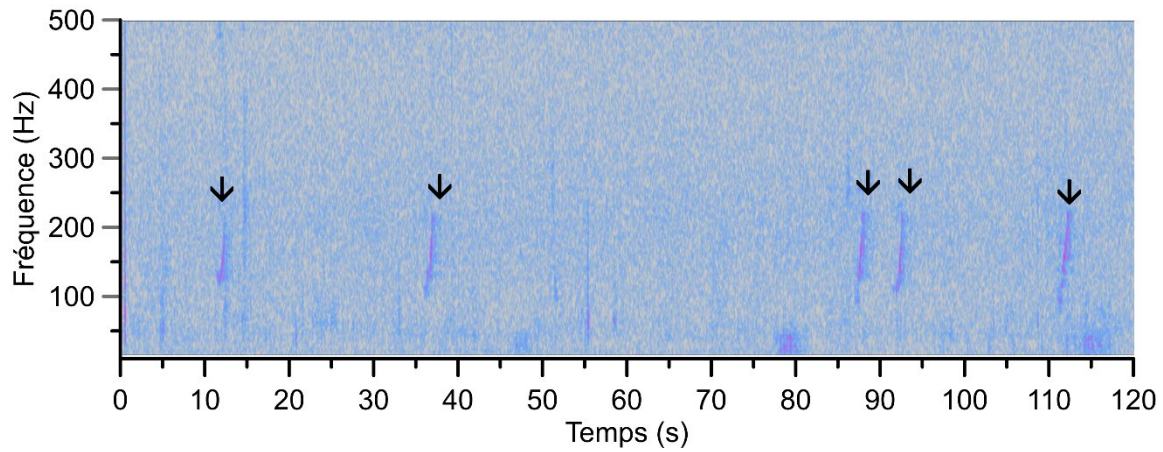


Figure 11. Exemples de spectrogrammes de 10 à 500 Hz d'appels de contact de la BNAN (flèches), enregistrés à la station 4 située dans la vallée de Shediac le 2 août 2021. Fenêtre de Hanning, résolution de 0,26 s x 3,9 Hz.

ANNEXE 2

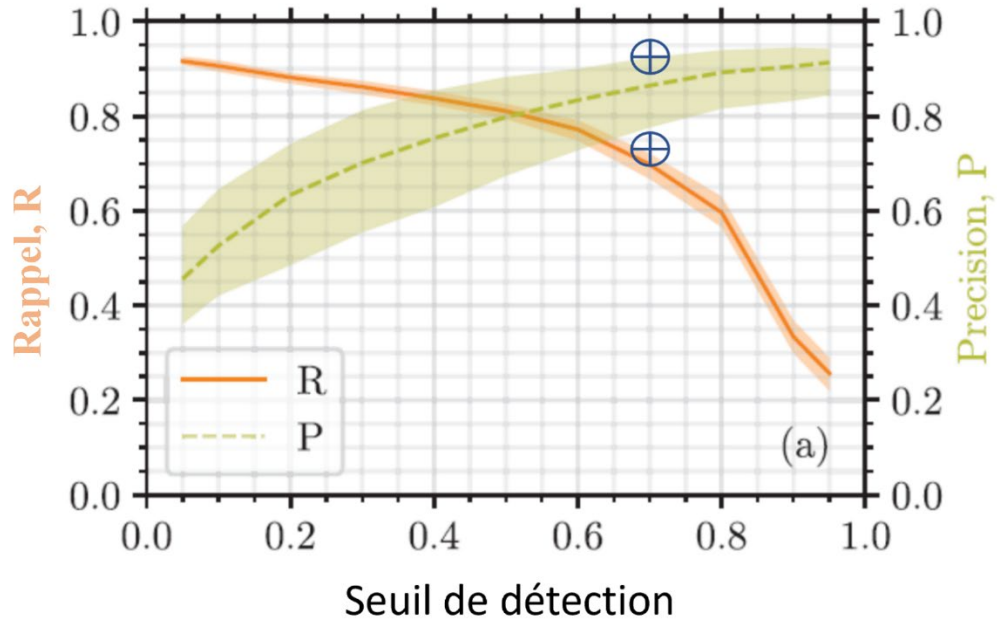


Figure 12. Performances de détection de la version 2.0 (⊕) de l'algorithme d'intelligence artificielle du RNPC-AI pour les appels de contact de la BNAN qui est utilisée dans le présent document, superposées aux courbes opérationnelles pour les indices de performance de rappel (R) et de précision (P) de la version 1.0 estimées avec le même ensemble de données (Kirsebom et al. 2020, figure 8a). Les lignes indiquent la performance moyenne tandis que les zones ombrées montrent les centiles de 10 et 90 % de la distribution de plusieurs itérations.

ANNEXE 3

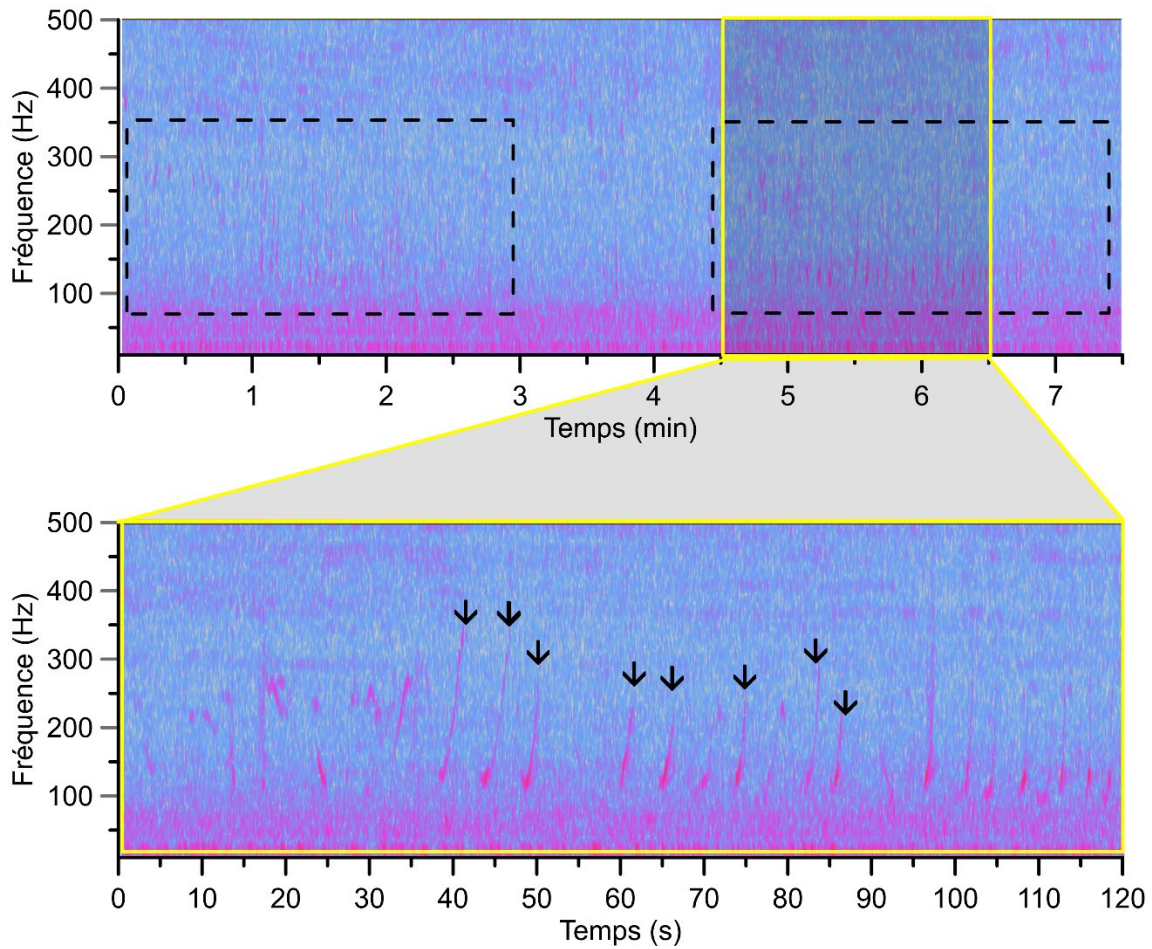


Figure 13. Exemples de spectrogrammes de 10 à 500 Hz de chants de baleine à bosse (panneau supérieur, rectangles tiretés) comprenant des séries d'appels de contact (zoom, panneau inférieur, flèches) semblables à celles de la BNAN, enregistrés à la station 1 située dans le détroit de Cabot le 11 novembre 2010. Fenêtre de Hanning, résolution de 0,25 s x 4 Hz.