

Fisheries and Oceans Canada

Sciences des écosystèmes et des océans

s Ecosystems and Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2018/059

Région du Québec

Fréquentations continues par les rorquals communs des habitats du Saint-Laurent détectées par la surveillance acoustique passive (SAP) pluriannuelle

Nathalie Roy^a, Yvan Simard^{a,b}, Florian Aulanier^a, et Samuel Giard^a

^aPêches et Océans Canada Institut Maurice-Lamontagne, 850 route de la Mer, Mont-Joli, QC, Canada G5H-3Z4

^{b)} Chaire en acoustique sous-marine appliquée aux mammifères marins et à leur écosystème de Pêches et Océans Canada, Institut des Sciences de la Mer, Université du Québec à Rimouski 310 Allée des Ursulines, Rimouski, QC, Canada G5L-3A1



Avant-propos

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

Publié par :

Pêches et Océans Canada Secrétariat canadien de consultation scientifique 200, rue Kent Ottawa (Ontario) K1A 0E6

> http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/ csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2018 ISSN 2292-4272

La présente publication doit être citée comme suit :

Roy N., Simard, Y., Aulanier, F., et Giard, S. 2018. Fréquentations continues par les rorquals communs des habitats du Saint-Laurent détectées par la surveillance acoustique passive (SAP) pluriannuelle. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2018/059. iv + 14 p.

Also available in English :

Roy N., Simard, Y., Aulanier, F., and Giard, S. 2018. Fin whale continuous frequentation of St. Lawrence habitats detected from multi-year passive acoustic monitoring (PAM). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2018/059. iv + 14 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	IV
INTRODUCTION	1
MATÉRIEL ET MÉTHODES ACQUISITION DE DONNÉES ANALYSE DES DONNÉES	1 1
RÉSULTATS	3
DISCUSSION	4
REMERCIEMENTS	4
RÉFÉRENCES CITÉES	5
TABLEAUX	7
FIGURES	10

RÉSUMÉ

Le rorqual commun de l'Atlantique est un visiteur régulier de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent. De 2010 à 2017, sa fréquentation de cette mer marginale de l'Atlantique Nord-Ouest a été suivie par acoustique passive (PAM) via un observatoire constitué d'un réseau de quatre stations pluriannuelles et de quatre stations annuelles, couvrant les 2 entrées du golfe du Saint-Laurent ainsi que les principales routes de passage. Les infrasons pulsés typiques de 20 Hz du rorqual commun ont été suivis au moyen d'un algorithme dédié.

Ces sons des rorquals communs ont été détectés à l'année longue, quoique seulement sporadiquement en juin et juillet. Dans la partie méridionale du golfe, la période de plus forte occurrence s'étendait d'août à mai. Dans le nord-ouest du golfe, elle se terminait généralement plus tôt, en janvier. Les sons ont été détectés dans les deux entrées du golfe, mais ont été beaucoup plus fréquents pour le détroit de Cabot. Les séries temporelles d'occurrence ne plaident pas en faveur d'une lente migration synchrone des individus depuis l'Atlantique jusqu'à l'estuaire et vice versa. La détection simultanée des sons aux différentes stations pendant une grande partie de l'année indique une population dispersée, répartie sur les différents sites d'intérêts dans la zone d'étude.

INTRODUCTION

La population du rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) de l'Atlantique a été désignée comme étant préoccupante par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC 2005) et a le même statut en vertu de la *Loi sur les espèces en péril* (LEP). L'un des objectifs du plan de gestion du rorqual commun (MPO 2017) est de surveiller la taille et les tendances de la population dans les eaux canadiennes.

L'information sur la répartition spatiale et temporelle de l'espèce dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent est fragmentée en raison de l'effort de relevé limité, qui est extrêmement localisé et côtier (examen dans Lesage *et al.* 2007; mais voir Kingsley et Reeves 1998, Lawson et Gosselin 2009). Les observations en dehors des mois d'été et d'automne sont rares.

Les rorquals communs émettent un son unique qui permet de surveiller leur présence : une impulsion à 20 Hz (Edds 1988, Watkins *et al.* 1987), un balayage vers le bas à modulation de fréquence (MF) entre 25 et 17 Hz, d'une durée d'une seconde environ. Ce son est généralement produit en longues séquences qui peuvent durer de nombreuses heures. Les profils de l'intervalle entre les impulsions varient d'un océan à l'autre et pourraient indiquer différents stocks. Dans l'Atlantique Nord-Ouest, l'intervalle entre les impulsions est compris entre 10 et 15 secondes (Delarue *et al.* 2014, Delarue *et al.* 2009, Hatch et Clark 2004, Morano *et al.* 2012, Oleson *et al.* 2014). Ce puissant appel a un niveau d'émission (SL) d'environ 189 dB exprimés relativement à 1 μ Pa à 1 m (Širović *et al.* 2007, Weirathmueller *et al.* 2013).

Dans la présente étude, notre objectif est de combler les lacunes dans les connaissances sur la fréquentation saisonnière du Saint-Laurent par le rorqual commun à l'aide d'enregistrements à long terme de ses appels particuliers réalisés par un observatoire de surveillance acoustique passive (SAP).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

ACQUISITION DE DONNÉES

L'observatoire de SAP était composé de huit stations installées dans le bas estuaire et le golfe du Saint-Laurent (Figure 1). Deux étaient situées aux entrées du golfe, dans les détroits de Cabot et de Belle-Isle. Une station se trouvait dans l'aire d'alimentation des baleines la plus en amont (Simard 2009, Simard et Lavoie 1999), aux « Escoumins », dans l'estuaire, et une autre à environ 75 km en aval, près de Baie-Comeau (la station du « bas estuaire »). Deux étaient placées autour de l'aire d'alimentation à l'est de la péninsule de Gaspé (« Cap d'Espoir » et « Percé ») et une au nord-est du Nouveau-Brunswick. « Shediac ». La dernière station. « Old Harry », était située le long d'un possible couloir de migration dans les deux sens, entre les aires d'alimentation de l'ouest du golfe et l'entrée du détroit de Cabot. À chaque station, un enregistreur sous-marin autonome AURAL (AURAL-M2, Multi-Electronigue Inc., Rimouski, Qc. Canada) était déployé à 5-50 m environ du fond à l'aide d'un amarrage océanographique classique de type I composé d'une ancre, d'un déclencheur acoustique, de l'instrument et de flotteurs sous-marins à faible traînée (cf. Simard et Roy 2008). Les AURAL ont échantillonné le signal acoustique préamplifié à 16 dB à une résolution de 16 bits et des taux d'échantillonnage compris entre 8 192 et 32 768 Hz pendant 15 ou 30 minutes toutes les heures selon l'année. La sensibilité de réception de l'hydrophone HTI 96-MIN (High Tech Inc., Gulfport, MS) équipant les AURAL est de -164 ± 1 dB re 1V µPa-1 sur la largeur de bande < 4 kHz utilisée ici, confirmée par les étalonnages effectués à l'installation d'étalonnage de Recherche et développement pour la défense Canada – Atlantique (Dartmouth, N.-É.). Les enregistrements couvraient une période de huit ans, de 2010 à 2017, la longueur des séries variant d'un à huit ans entre les stations (Figure 2).

ANALYSE DES DONNÉES

Afin de détecter les appels à 20 Hz des rorquals communs (Figure 3), un algorithme de détection automatique utilisait une correspondance temps-fréquence du signal avec six modèles synthétiques représentatifs. Ces modèles représentent les différents schémas temps-fréquence des appels à 20 Hz relevés dans la zone d'étude. Ils ont été tirés d'une analyse en classification automatique à k moyenne (Legendre et Legendre 1998) des profils des spectrogrammes d'un sous-ensemble de 1 077 impulsions à 20 Hz validées provenant de deux stations différentes.

Pour résumer, la fréquence d'échantillonnage du signal acoustigue était réduite à 200 Hz et un spectrogramme à haute résolution était calculé et nettoyé de son bruit afin de renforcer le rapport signal-bruit (SNR) (Figure 4, étape 1). La correspondance avec les modèles synthétiques a été examinée dans une fenêtre temps-fréquence dont la longueur incluait à la fois l'appel et les parties de bruit avant et après l'appel (Figure 4, étape 2). La détection était déclenchée lorsque l'indice de correspondance dépassait un seuil fixé de manière à réduire au minimum tant les détections manquées que les fausses alarmes. Ces dernières se produisaient surtout à de bas SNR et étaient validées par un observateur expérimenté (Figure 4, étape 3). Dans le présent document, le paramètre utilisé pour signaler une occurrence d'appel (c.-à-d. l'indice de fréquentation par les rorquals communs) est le nombre d'heures avec appels par jour, Nhd. Il suffit d'une détection pour que ce paramètre soit différent de zéro. Compte tenu du taux élevé d'appels par heure et du nombre élevé d'appels détectés (> 200 000 détections/an dans certains cas), l'étape de la validation ignorait les détections dont le SNR était inférieur à 0 dB. Cette approche a rendu la validation plus gérable en supprimant un grand nombre de fausses détections, mais en général n'a pas eu d'incidence sur le nombre d'heures où des appels ont été détectés (seul 1 % de la présence horaire totale a été perdu à une station - Old Harry, de juin à septembre 2012, N=21 802 détections).

L'indice de rappel (pourcentage des appels vrais détectés) de cet algorithme, tiré de l'examen manuel d'un sous-échantillon des enregistrements à deux stations (Old Harry et Belle-Isle) représentant 1 119 appels réels, est de 77 %. Compte tenu de cet indice de rappel élevé et de la forte récurrence des vocalises à 20 Hz en une heure, le pourcentage d'heures avec appels manqués est probablement proche de zéro puisqu'un appel suffit à valider une heure avec appels. On peut par conséquent considérer que la série d'occurrences d'appels de rorquals communs présentée ici est probablement exempte de fausses alarmes et d'événements manqués lorsque la SAP était active.

Le système de SAP était considéré comme inactif lorsque les niveaux de bruit (NL) dépassaient le niveau de réception attendu (RL_{call}) des appels ciblés. Pour évaluer l'importance des occurrences d'appels inactifs dans les enregistrements, on a calculé la série chronologique NL dans la bande de fréquences des appels et la fonction de distribution cumulative (cdf) du RL_{call} correspondant pour quelques séries annuelles. Les périodes où NL > [cdf(RL_{call}) = 0,95] (c.à-d. où les chances de détecter un appel étaient inférieures à 5 %) étaient considérées comme des périodes d'inactivité. La proportion du temps où la SAP était active, P_{det} , est obtenue par le complément de la proportion du temps d'inactivité. L'estimation la plus basse obtenue pour P_{det} était de 85 %.

La capacité d'un système de SAP de détecter des appels dépend de son emplacement dans le bassin tridimensionnel, du niveau d'émission de l'appel (SL), des pertes dues à la transmission (TL) et du niveau de bruit (NL) (Simard *et al.* 2008). Pour comparer les séries de détections en

différents endroits d'un bassin non homogène, comme les plateaux continentaux, il faut tenir compte des zones de détection locales (Helble et al. 2013, Širovic et al. 2015). Les zones de détection ont été calculées pour les périodes d'enregistrement aux stations de SAP à l'aide d'un modèle de propagation par résolution de l'équation parabolique (PE) propageant un appel à 20 Hz avec un SL de189 dB re 1 µPa à 1 m (Širović *et al.* 2007); on a alors comparé le RL_{call} ainsi obtenu aux stations au NL médian dans la même bande de fréquences. Le modèle de l'équation parabolique (Collins 1993, OALIB 2016) a été configuré avec les éléments suivants : (1) les caractéristiques types de la masse d'eau en été tirées des sorties d'un modèle de circulation tridimensionnel opérationnel de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent pour le mois de juillet 2013 (Senneville et Lefaivre 2015); et (2) les propriétés géoacoustigues du fond d'après Loring et Nota (1973) et Jensen et al. (2011) (Aulanier et al. 2016a, Aulanier et al. 2016b). La source à 15 m de profondeur (Stimpert et al. 2015) était placée radialement tous les 1 km sur plusieurs rayons de 200 km de long espacés par des intervalles réguliers et dont le centre était la station de SAP. Les 360 parts de tarte de 1 ° chacune délimitées par ces rayons ont été comblées par interpolation. On a présumé que la détection des appels s'arrêtait lorsque le rapport SNR \leq 0 dB. La zone de détection était la somme de tous les pixels d'émission de 1 km² qui produisaient un rapport SNR > 0 dB. On a calculé les zones de détection relatives, RA_{det} (c.-à-d. le rapport de la zone de détection à la station par rapport à la plus petite zone de détection de toutes les stations) pour chaque station de SAP.

RÉSULTATS

La taille des zones de détection dans un rayon de 200 km aux stations de SAP dépend des caractéristiques de la masse d'eau, mais également en grande partie de la bathymétrie locale (Figure 5). Elle était comprise entre 2 485 km² à la station de Belle-Isle et 58 044 km² à Old Harry, dans le bassin plus vaste du golfe (Tableau 1), soit un facteur relatif de 23,4. Les zones de détection du détroit de Cabot et du Cap d'Espoir étaient respectivement 8,0 et 5,3 fois plus grandes que celle des Escoumins. Il convient de garder à l'esprit ces facteurs de relativité entre les zones de détection, qui sont illustrées sur la figure 5, pour comparer les séries chronologiques de détection des appels entre les stations. Cependant, le paramètre des heures-avec-appel est moins sensible à l'écart entre les zones de détection puisqu'une seule détection d'appel suffit pour indiquer la présence une heure donnée. La zone de détection n'a pas été évaluée pour la station de Percé, mais elle devrait être semblable à celle du Cap d'Espoir, qui est proche. Les résultats des appels sont combinés pour ces deux stations en raison de leur proximité (Figure 6).

Les appels à 20 Hz ont été détectés toute l'année dans la zone surveillée, en particulier pendant tout l'hiver (Figure 6, Tableau 2). Les appels étaient présents à toutes les stations (Figure 6), avec un net profil saisonnier de récurrence d'une année sur l'autre (par exemple, Figure 7). Les occurrences étaient basses en juin et en juillet à toutes les stations. Pour une grande partie des enregistrements, les rorquals communs étaient présents simultanément dans toutes les zones de détection, des Escoumins au détroit de Cabot. Les deux stations de SAP situées dans le sud-est du golfe ont détecté des appels des baleines pendant une plus grande partie de l'année que celles qui se trouvent dans le chenal Laurentien, dans l'estuaire et l'est du bassin de la Gaspésie (Figures 1 et 6, Tableau 2). La période annuelle d'occurrence des appels aux stations de SAP variait de 183 jours dans la zone de Percé à toute l'année dans celle d'Old Harry (Tableau 2).

Aux Escoumins, l'occurrence des appels s'intensifiait en général en août pour se terminer à la fin du mois de décembre ou en janvier (Tableau 2, Figure 7a), avec une période sans appel de la fin du mois de janvier à la fin du mois de mars (Figure 7a). Dans les stations du sud du golfe, les appels s'intensifiaient en août pour ralentir en avril (Figure 7b).

DISCUSSION

Le présent travail de SAP est la première tentative visant à surveiller systématiquement la fréquentation de toute la mer intérieure de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent par les rorquals communs en détectant leurs vocalisations particulières sur un cycle annuel complet. Cette contribution établit une situation de référence pour la fréquentation par les rorquals communs de cette partie de leur aire de répartition dans l'Atlantique Nord-Ouest. Les résultats montrent clairement que les rorquals communs occupent l'ensemble de la région toute l'année, à l'exception d'une période d'environ deux mois où ils quittent la zone la plus en amont de l'estuaire du Saint-Laurent. Les rorquals communs étaient présents en même temps dans les sites du sud et les plus en amont, ce qui indique qu'ils utilisaient simultanément de nombreux sites dans le bassin. De plus, ces résultats n'appuient pas l'idée d'une lente migration saisonnière synchronisée d'un seul groupe coordonné qui migrerait peu à peu vers les eaux de l'Atlantique et en reviendrait. L'occurrence des appels affiche clairement un profil saisonnier et se produit entre le milieu de l'été, environ, et le printemps. On ne sait pas dans quelle mesure ce profil reflète de réels changements saisonniers de l'abondance ou des changements du taux d'appel individuel.

L'indice du paramètre d'occurrence quotidienne utilisé pour exprimer les détections des appels est moins sensible à la différence de zone de détection entre les stations que les autres paramètres des nombres d'appels par unités de temps. Le paramètre des heures-avec-appels est positif dès qu'un appel est détecté et ne change pas si plus d'un appel est détecté pendant la même heure, que ce soit en réponse à une zone de détection élargie ou à un nombre d'appelants plus grand. En supposant que les répartitions et les taux d'appel des baleines sont semblables, les détections d'appels augmenteront probablement avec la zone de détection, tout comme la probabilité de détecter un appel. Ce dernier effet pourrait avoir une incidence sur l'occurrence quotidienne estimée pour les périodes où l'occurrence est faible, mais pas pour celles où elle est élevée. Afin de minimiser encore les effets possibles des différentes zones de détection par les stations de SAP dans une région étudiée, il faudrait accroître le nombre de stations, le suivi des baleines et l'estimation de la densité surfacique des dénombrements des appels.

La détermination des périodes de SAP actives, P_{det} , a utilisé le 95^e centile de la fonction de distribution cumulative de l'énergie de l'appel pour décider lorsque le bruit était trop élevé pour être détecté. L'utilisation d'un centile moins permissif pourrait donner une série chronologique d'occurrence des appels légèrement différente, mais les effets possibles sont limités puisque la durée de service efficace était supérieure à 85 % lorsque l'enregistrement était activé. Pour poursuivre la surveillance, on pourrait améliorer les emplacements des stations de SAP en examinant la zone de détection de différents endroits dans le bassin à partir de la probabilité modélisée du bruit produit par la navigation (Aulanier *et al.* 2016b), de manière à mieux couvrir l'ensemble de la région avec un nombre limité de stations.

REMERCIEMENTS

Ces travaux ont été rendus possibles grâce aux contributions de Pêches et Océans Canada, à la chaire de recherche en acoustique marine appliquée à la recherche sur les écosystèmes de Pêches et Océans Canada à l'Institut des sciences de la mer, à l'Université du Québec à Rimouski et à la subvention à la recherche du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada accordée à YS. Nous remercions l'équipe de techniciens et les équipages des navires scientifiques qui ont déployé et entretenu l'observatoire de SAP.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Aulanier, F., Simard, Y., N., R., Gervaise, C., et Bandet, M. 2016a. Groundtruthed probabilistic shipping noise modeling and mapping: Application to blue whale habitat in the Gulf of St. Lawrence. *In* Fourth International Conference on the Effects of Noise on Aquatic Life. Proceedings of Meeting on Acoustics POMA-D-16-00095, Dublin, Ireland.
- Aulanier, F., Simard, Y., Roy, N., Gervaise, C., et Bandet, M. 2016b. <u>Spatio-temporal exposure</u> of blue whale habitats to shipping noise in St. Lawrence system. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/090. vi + 26 p.
- Collins, M.D. 1993. A split-step Padé solution for the parabolic equation method. J. Acoust. Soc. Am. 94(4): 1736-1742.
- COSEPAC. 2005. <u>Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le rorqual commun</u> (*Balaenoptera physalus*) au Canada – Mise à jour. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. vii + 43 p.
- Delarue, J., Todd, S.K., Van Parijs, S.M., et Di Iorio, L. 2009. Geographic variation in Northwest Atlantic fin whale (*Balaenoptera physalus*) song: Implications for stock structure assessment. J. Acoust. Soc. Am. 125(3): 1774-1782.
- Delarue, J., Dziak, R., Mellinger, D., Lawson, J., Moors-Murphy, H., Simard, Y., et Stafford, K. 2014. Western and central North Atlantic fin whale (*Balaenoptera physalus*) stock structure assessed using geographic song variations. J. Acoust. Soc. Am. 135(4): 2240-2240.
- Edds, P.L. 1988. Characteristics of finback *Balenoptera physalus* vocalizations in the St. Lawrence Estuary Canada. Bioacoustics 1: 131-150.
- Hatch, L.T., et Clark, C.W. 2004. Acoustic differentiation between fin whales in both the North Atlantic and North Pacific Oceans, and integration with genetic estimates of divergence.
 Rep. Int. Whal. Comm. (SC/56/SD6): 37 pp.
- Helble, T.A., D'Spain, G.L., Hildebrand, J.A., Campbell, G.S., Campbell, R.L., et Heaney, K.D. 2013. Site specific probability of passive acoustic detection of humpback whale calls from single fixed hydrophones. J. Acoust. Soc. Am. **134**(3): 2556-2570.
- Jensen, F.B., Kuperman, W.A., Porter, M.B., et Schmidt, H. 2011. Computational ocean acoustics. Springer.
- Kingsley, M., et Reeves, R.R. 1998. Aerial surveys of cetaceans in the Gulf of St. Lawrence in 1995 and 1996. Can. J. Zool. 76(8): 1529-1550.
- Lawson, J.W., et Gosselin, J.F. 2009. <u>Distribution and preliminary abundance estimates for</u> cetaceans seen during Canada's marine megafauna survey - A component of the 2007 <u>TNASS</u>. DFO Can. Sci. Adv. Sec. Res. Doc. 2009/031. vi + 28.

Legendre, P., et Legendre, L. 1998. Numerical ecology. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

Lesage, V., Gosselin, J.-F., Hammill, M.O., Kingsley, M.C.S., et Lawson, J.W. 2007. <u>Ecologically and Biologically Significant Areas (EBSAs) in the Estuary and Gulf of St.</u> <u>Lawrence – A marine mammal perspective</u>. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2007/046. Iv + 92 p.

Loring, D.H., et Nota, D.J.G. 1973. Morphology and sediments of the Gulf of St. Lawrence. Bull. Fish. Res. Bd. Can. 182: 147 p. + 147 charts.

- Morano, J.L., Salisbury, D.P., Rice, A.N., Conklin, K.L., Falk, K.L., et Clark, C.W. 2012. Seasonal and geographical patterns of fin whale song in the western North Atlantic Ocean. J. Acoust. Soc. Am. 132(2): 1207-1212.
- MPO. 2016. <u>Plan de gestion du rorqual commun (*Balaenoptera physalus*), population de <u>l'Atlantique au Canada</u>. Série de Plans de gestion de la *Loi sur les espèces en péril*, MPO, Ottawa, vi + 41 p.</u>
- OALIB. 2016. <u>Ocean Acoustic Library, Acoustic Toolbox, RAMSsurf</u>. (last viewed april 20, 2018).
- Oleson, E.M., Širović, A., Bayless, A.R., et Hildebrand, J.A. 2014. Synchronous seasonal change in fin whale song in the North Pacific. PLoS ONE **9**(12): e115678.
- Senneville, S., et Lefaivre, D. 2015. Reproduction horaire et à trois dimensions des conditions hydrographiques et hydrodynamiques du golfe du Saint-Laurent avec le modèle MoGSL pour la période de 1997 à 2014. *In* Rapport 2014-2015 de l'entente de contribution entre le MPO et l'ISMER/UQAR pour la simulation numérique des océans. *Édité par IML* Pêches et Océans Canada, Mont-Joli.
- Simard, Y. 2009. Le Parc Marin Saguenay–Saint-Laurent: processus océanographiques à la base de ce site d'alimentation unique des baleines du Nord-Ouest Atlantique. The Saguenay–St. Lawrence Marine Park: oceanographic process at the basis of this unique forage site of Northwest Atlantic whales. Rev. Sc. Eau / J. Water Sci. **22**(2): 177-197.
- Simard, Y., et Lavoie, D. 1999. The rich krill aggregation of the Saguenay–St. Lawrence Marine Park: hydroacoustic and geostatistical biomass estimates, structure, variability, and significance for whales. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 56(7): 1182-1197.
- Simard, Y., et Roy, N. 2008. Detection and localization of blue and fin whales from largeaperture autonomous hydrophone arrays: A case study from the St. Lawrence estuary. Can. Acoust. 36(1): 104-110.
- Simard, Y., Roy, N., et 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.
- Širović, A., Hildebrand, J.A., et Wiggins, S.M. 2007. Blue and fin whale call source levels and propagation range in the Southern Ocean. J. Acoust. Soc. Am. 122(2): 1208-1215.
- Širovic, A., Rice, A., Chou, E., Hildebrand, J.A., Wiggins, S., et Roch, M.A. 2015. Seven years of blue and fin whale call abundance in the Southern California Bight. Endang. Sp. Res. 28(1): 61-76.
- Stimpert, A., DeRuiter, S., Falcone, E., Joseph, J., Douglas, A., Moretti, D., Friedlaender, A., Calambokidis, J., Gailey, G., Tyack, P., et Goldbogen, J. 2015. Sound production and associated behavior of tagged fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Southern California Bight. Anim Biotelemetry 3(1): 1-12.
- Watkins, W.A., Tyack, P., Moore, K.E., et Bird, J.E. 1987. The 20-Hz signals of finback whales (*Balaenoptera physalus*). J. Acoust. Soc. Am. 82(6): 1901-1912.
- Weirathmueller, M.J., Wilcock, W.S.D., et Soule, D.C. 2013. Source levels of fin whale 20 Hz pulses measured in the Northeast Pacific Ocean. J. Acoust. Soc. Am. 133(2): 741-749.

TABLEAUX

Station de SAP	Zone de détection des appels (km²)	Zone de détection relative des appels (<i>RA_{det}</i>)
Les Escoumins	4 768	1,9
Bas Estuaire	8 098	3,3
Belle-Isle	2 485	1,0
Cap d'Espoir	25 183	10,1
Shediac	15 107	6,1
Old Harry	58 044	23,4
Cabot	38 098	15,3

Tableau 1. Zones de détection médianes relatives aux stations de SAP.

Tableau 2. Premières et dernières dates et durée des occurrences saisonnières des appels à 20 Hz des rorquals communs aux stations de SAP. Les données en italiques soulignées indiquent qu'il est possible que la période d'occurrence saisonnière des appels ait commencé avant le début de l'enregistrement ou se soit poursuivie après la fin de l'enregistrement. Les périodes sont interrompues lorsqu'aucun appel ne s'est produit pendant plus de 30 jours.

Station do SAD	Indice BWF _{A-call}		
Station de SAP	Date de début	Date de fin	Jours
Pollo Iolo	<u>2010-11-02</u>	2010-11-09	>8
Delle-Isle	2011-08-26	<u>2011-10-25</u>	>61
	<u>2007-10-29</u>	2007-12-10	>43
	2008-04-27	2008-04-29	3
	2008-06-12	<u>2008-06-12</u>	>1
	<u>2008-08-06</u>	2009-01-02	>150
	2009-04-19	2009-04-19	1
	2009-06-19	2009-06-23	5
	2009-08-01	<u>2009-10-26</u>	>87
	<u>2010-07-08</u>	2010-12-29	>175
	2011-03-27	2011-04-23	28
Les Escoumins	2011-05-30	2012-01-06	222
	2012-08-22	2012-12-31	132
	2013-06-09	2013-06-09	1
	2013-07-11	2013-07-17	7
	2013-09-10	2013-12-08	90
	2014-10-30	2014-12-16	48
	2015-08-11	2015-08-12	2
	2015-09-28	2016-01-12	107
	2016-03-28	2016-04-19	23
	2016-07-11	2017-01-24	198
	<u>2012-11-05</u>	2013-01-20	>77
	2013-03-06	2013-04-19	45
Bas estuaire	2013-05-31	2013-05-31	1
	2013-07-05	2013-07-05	1
	2013-09-05	<u>2013-10-29</u>	>55
	2011-09-04	2012-01-08	127
	2012-02-25	2012-03-24	29
Can d'Espair/Parcá	2013-08-30	2014-01-01	125
Cap u Espon/Perce	2014-08-30	2015-01-12	136
	2015-09-03	2016-02-06	157
	2016-08-05	2017-02-03	183
	2015-07-18	2015-07-18	1
Shediac	2015-09-20	<u>2015-10-20</u>	>31
	<u>2015-11-01</u>	2016-01-14	>75

Station de SAP	Indice <i>BWF</i> _{A-call}		
	Date de début	Date de fin	Jours
	2016-08-31	2016-10-20	>51
	<u>2010-11-16</u>	<u>2011-10-24</u>	>343
	<u>2011-11-04</u>	<u>2012-10-19</u>	>351
	<u>2012-11-06</u>	<u>2013-02-24</u>	>111
	<u>2013-06-18</u>	2013-06-21	>4
Old Harry	2013-08-11	<u>2014-05-30</u>	>293
	<u>2014-06-03</u>	<u>2015-02-17</u>	>260
	2015-07-06	<u>2016-04-30</u>	>300
	<u>2016-06-11</u>	2016-06-17	>7
	2016-07-18	<u>2017-06-04</u>	>322
Cabot	<u>2010-11-09</u>	<u>2012-09-12</u>	>674
	<u>2012-11-07</u>	<u>2013-03-07</u>	>121

FIGURES



Figure 1. Carte de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent montrant l'emplacement des huit stations de l'observatoire de SAP et les courbes bathymétriques de 100 m.



Figure 2. Calendrier d'enregistrement aux huit stations illustrées sur la figure 1, indiquées du nord au sud. BI : détroit de Belle Isle; E : Les Escoumins; LE : bas estuaire; PE : Percé; CE : Cap d'Espoir; S : Shediac; OH : Old Harry; Ca : détroit de Cabot.







Figure 4. Schéma de l'algorithme de détection des appels à 20 Hz.



Figure 5. Cartes des zones de détection médianes des appels à 20 Hz aux stations de SAP.



Figure 6. Série chronologique du nombre d'heures avec appels de rorquals communs, par jour, à la station de SAP dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent de 2010 à 2018. Les lignes rouges en gras indiquent les périodes sans enregistrement. Cap d'Espoir est combiné à Percé (qui débute en 2016) dans un souci de concision.



Figure 7. Séries chronologiques annuelles du nombre d'heures avec appels de rorquals communs, par jour, aux stations de SAP des Escoumins (a) et de Old Harry (b). Les lignes rouges en gras indiquent les périodes sans enregistrement.