

Une décennie de suivis acoustiques continus des rorquals bleus, des rorquals communs et du krill dans le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent de 2007 à 2017

Yvan Simard and Nathalie Roy

Volume 142, Number 2, Summer 2018

20^e anniversaire du parc marin du Saguenay–Saint-Laurent :
recherche, conservation et mise en valeur

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1047152ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1047152ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada

ISSN

0028-0798 (print)

1929-3208 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Simard, Y. & Roy, N. (2018). Une décennie de suivis acoustiques continus des rorquals bleus, des rorquals communs et du krill dans le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent de 2007 à 2017. *Le Naturaliste canadien*, 142(2), 106–114. <https://doi.org/10.7202/1047152ar>

Article abstract

An underwater acoustic observatory, operated between 2007 and 2017 in the eastern part of the Saguenay–St. Lawrence Marine Park (Québec, Canada), monitored use of the area by blue (*Balaenoptera musculus*) and fin (*Balaenoptera physalus*) whales, and the concentration of their food source, krill. This 10-year time series provided new information showing that over the study period: a) the presence of these rorqual was relatively stable, with both species visiting the area annually, particularly during the second half of the year, until ice formation; b) the start and end dates varied and frequentation was more intense during late fall than summer, when whale-watching ecotourism reaches a peak; and c) the krill concentration was high (> 176 t/km² for 50% of the time), but fluctuated over short periods, with no apparent link to the physical or biological factors longer than 24 hours from rhythmic analysis (e.g., the fortnightly tidal period). The krill concentration tended to reach a maximum between mid-December and mid-February. If global warming shortens the ice cover period, these rorquals may spend more time in the area during winter.

Une décennie de suivis acoustiques continus des rorquals bleus, des rorquals communs et du krill dans le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent de 2007 à 2017

Yvan Simard^{1, 2} et Nathalie Roy¹

Résumé

Pour suivre la fréquentation du parc marin du Saguenay-Saint-Laurent par le rorqual bleu (*Balaenoptera musculus*) et le rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) ainsi que la concentration de leur nourriture, le krill, un observatoire acoustique a été opéré de 2007 à 2017 à l'est du parc. L'information nouvelle qu'apportent ces séries temporelles décennales montre que : a) la présence des rorquals est relativement stable, et que les deux espèces ont visité la région chaque année, particulièrement dans la 2^e moitié de l'an, jusqu'à l'apparition des glaces; b) les dates de début et de fin varient, et cette fréquentation saisonnière est plus intense tard en automne qu'au cours de l'été, alors que l'écotourisme d'observation des baleines bat son plein; c) la concentration de krill est élevée (50 % du temps supérieure à 176 t/km²) mais subit d'importantes fluctuations sur de courtes périodes, sans lien particulièrement fort avec des forçages physiques ou biologiques de plus d'un jour, tel celui des marées semi-mensuelles, d'après les analyses de rythmes effectuées. La concentration quotidienne de krill tendait vers un maximum de la mi-décembre à la mi-février. Dans un contexte de réchauffement planétaire, la présence hivernale des rorquals pourrait se prolonger si la période englacée diminue.

MOTS CLÉS : acoustique, décennie, infrasons, krill, rorquals

Abstract

An underwater acoustic observatory, operated between 2007 and 2017 in the eastern part of the Saguenay-St. Lawrence Marine Park (Québec, Canada), monitored use of the area by blue (*Balaenoptera musculus*) and fin (*Balaenoptera physalus*) whales, and the concentration of their food source, krill. This 10-year time series provided new information showing that over the study period: a) the presence of these rorqual was relatively stable, with both species visiting the area annually, particularly during the second half of the year, until ice formation; b) the start and end dates varied and frequentation was more intense during late fall than summer, when whale-watching ecotourism reaches a peak; and c) the krill concentration was high (> 176 t/km² for 50% of the time), but fluctuated over short periods, with no apparent link to the physical or biological factors longer than 24 hours from rhythmic analysis (e.g., the fortnightly tidal period). The krill concentration tended to reach a maximum between mid-December and mid-February. If global warming shortens the ice cover period, these rorquals may spend more time in the area during winter.

KEYWORDS: acoustics, decade, infrasounds, krill, rorquals

Introduction

Le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent est un site naturel canadien exceptionnel de l'Atlantique du Nord-Ouest en raison de ses caractéristiques topographiques, géologiques, océanographiques et biologiques (Drainville, 1968; Locat et Levesque, 2009; Mosnier et collab., 2016; Saucier et Chassé, 2000; Simard, 2009). Habitat pérenne de plusieurs espèces de mammifères marins, résidentes tel le béluga (*Delphinapterus leucas*), ou visiteurs assidus, tels les grands rorquals, le parc marin est une destination achalandée de l'écotourisme mondial d'observation des baleines (O'Connor et collab., 2009). Cette activité saisonnière est fortement concentrée en été, tout comme l'information récoltée sur la fréquentation par les baleines à bord des bateaux d'excursion ou de recherche, d'observations côtières (p. ex., Conversano et collab., 2017; Edds et MacFarlane, 1987) ainsi qu'à partir d'aéronefs (p. ex.,

Gosselin et collab., 2017). Ce constat est aussi vrai pour les informations disponibles sur l'abondance, la distribution et la concentration des espèces de proies dont se nourrissent les baleines dans le parc marin, notamment celles filtrant des concentrations de petits organismes comme le krill ou le capelan (p. ex., Simard et Lavoie, 1999; Simard et collab., 2002).

¹Institut Maurice-Lamontagne, Pêches et Océans Canada, 850 route de la Mer, Mont-Joli, Québec, Canada G5H 3Z4

yvan.simard@dfo-mpo.gc.ca

nathalie.roy@dfo-mpo.gc.ca

²Institut des Sciences de la Mer, Université du Québec à Rimouski, 310, allée des Ursulines, C.P. 3300, Rimouski, Québec, Canada G5L 3A1

yvan_simard@uqar.ca

Pour contribuer à combler ce manque d'information sur la fréquentation du parc marin par les mammifères marins et sur la concentration de leur nourriture au long de cycles annuels complets, nous avons fait appel aux nouvelles technologies en acoustique sous-marine passive et active.

Un observatoire acoustique a été installé à l'entrée est du parc marin pour détecter les baleines par les sons qu'elles émettent régulièrement et pour mesurer la concentration relative de krill par une forme d'échographie des masses d'eau. Cet observatoire opérant jour et nuit, 7 jours par semaine, beau temps, mauvais temps, a été maintenu depuis l'automne 2007. Le présent travail dévoile les résultats d'une analyse des données récoltées pour cette première période de 10 ans, à l'occasion du 20^e anniversaire de création du parc marin.

Matériel et méthodes

L'observatoire acoustique a été déployé au large des Escoumins, sur le rebord nord du chenal Laurentien (figure 1). Sa configuration verticale comprend une ancre déposée sur le fond, un largueur acoustique (IXblue, Oceano 2500, <https://www.ixblue.com/products/oceano-25005000>) maintenu environ 1,5 m plus haut par des bouées sous-marines, un hydrophone autonome (Multi-Électronique inc., AURAL M2, <http://www.multi-electronique.com/aural.html>) avec bouées de flottaison et un système acoustique autonome Doppler à 4 faisceaux (Teledyne Marine, Workhorse Sentinel ADCP RDI, 300 kHz, <http://www.teledynemarine.com/workhorse-sentinel-adcp>) inséré dans un caisson de flottaison profilé placé de 105 à 125 m sous la surface avec ses faisceaux orientés vers le haut (figure 1, encart). L'observatoire a été déployé à partir du 17 octobre 2007 et a été entretenu annuellement depuis. Les hydrophones enregistraient pendant 15 ou 30 minutes par heure (10 min/h en 2007-08), et les systèmes acoustiques Doppler ultrasoniques mesuraient l'intensité de rétrodiffusion reliée aux concentrations de zooplancton et autres particules dans la colonne d'eau, toutes les 20 ou 30 minutes (figure 2). Chaque année, les séries temporelles accusent des périodes de quelques semaines à quelques mois sans fonctionnement lorsque les piles alimentant les instruments s'épuisaient avant leur remplacement annuel.

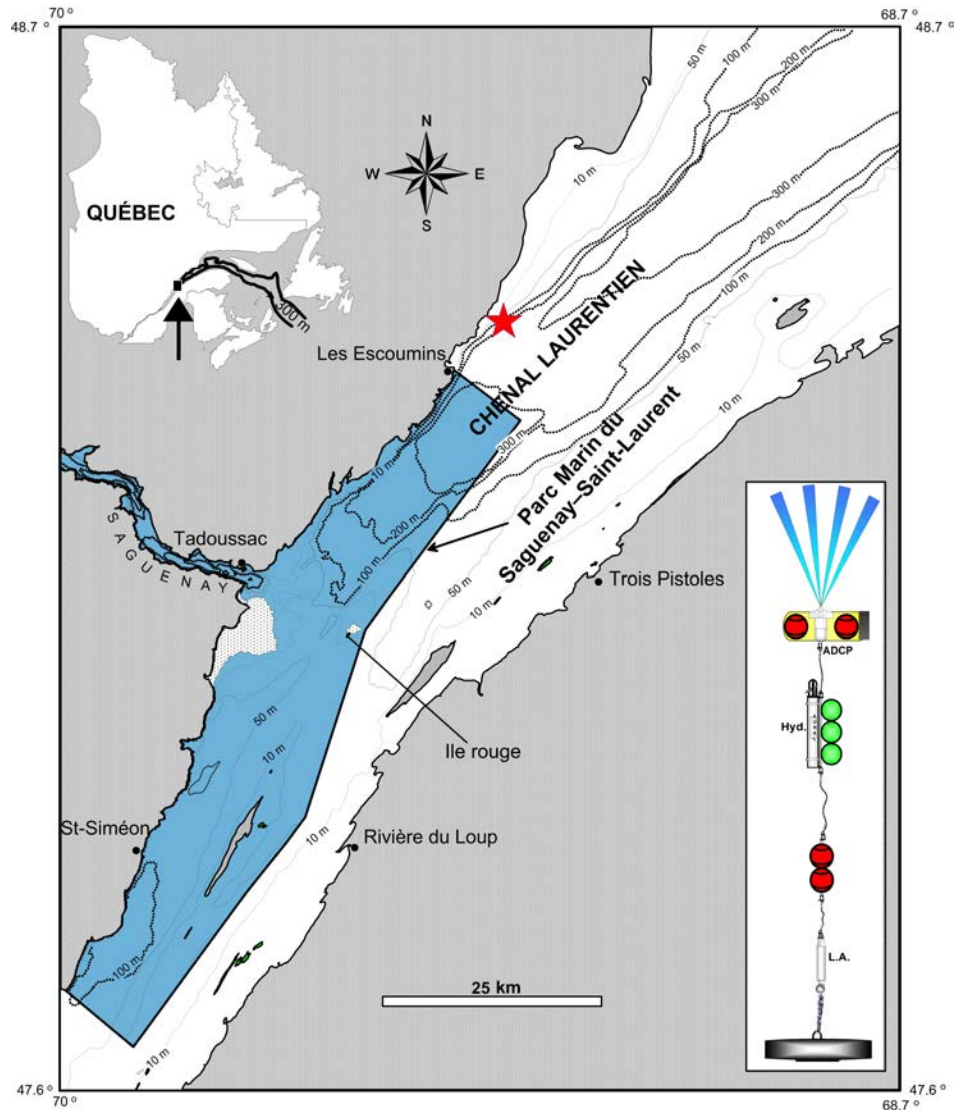


Figure 1. Emplacement de la station des mesures acoustiques (étoile rouge) au large des Escoumins, en aval du parc marin du Saguenay-Saint-Laurent. Les lignes pointillées indiquent les isobathes en mètre. En mortaise: schéma de l'observatoire acoustique autonome: ancre, largueur acoustique (L.A.), flotteurs, hydrophone AURAL M2 (Hyd.) muni de flotteurs, caisson flotteur avec courantomètre acoustique Doppler Teledyne Marine RDI Workhorse Sentinel 300 kHz (ADCP).

Les enregistrements des hydrophones ont été l'objet d'analyses à l'aide d'algorithmes de traitement numérique spécialisés pour détecter les infrasons émis régulièrement par les rorquals bleus (p. ex., Berchok et collab., 2006) et les rorquals communs (Watkins et collab., 1987) (figure 3). Ces algorithmes réalisent une séquence d'opérations pour repérer les stéréotypes de ces infrasons spécifiques dans les images temps-fréquence des enregistrements, les spectrogrammes, tels que présentés à la figure 3. Ces détections automatiques sont ensuite vérifiées par un observateur expérimenté afin d'éliminer les détections erronées. Le nombre d'heures contenant des infrasons pour chaque jour est ensuite compté pour construire la série temporelle pluriannuelle de

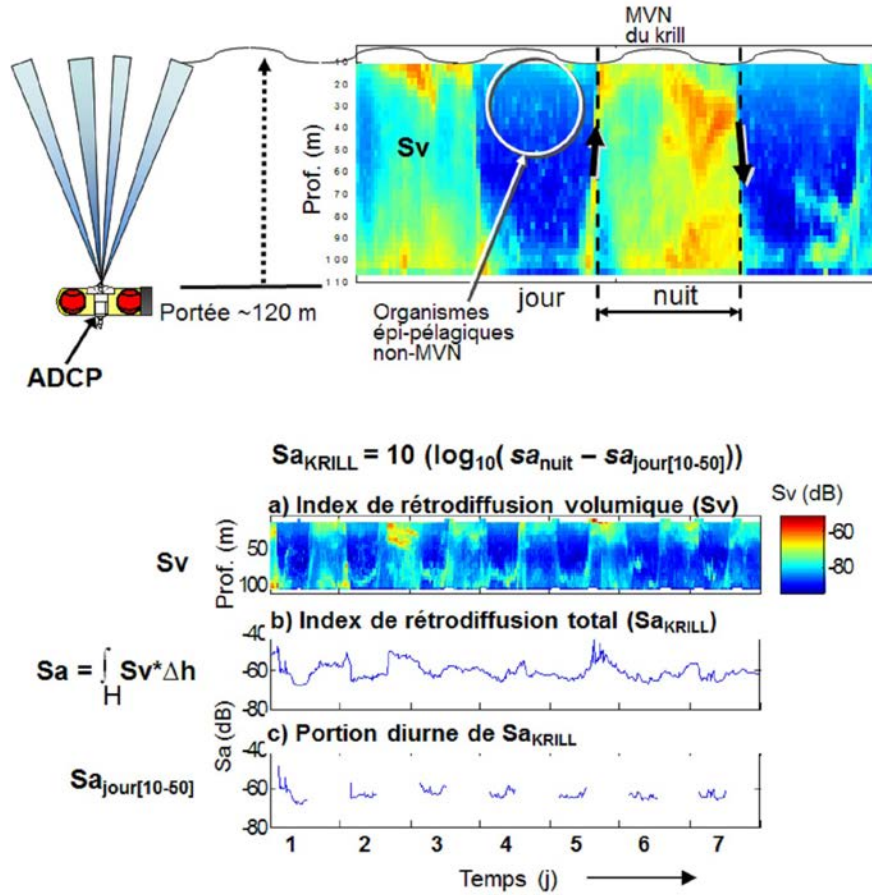


Figure 2. Schéma d'estimation d'un index acoustique d'abondance de krill (Sa_{KRILL}) à partir des données d'intensité de réverbération acoustique (Sv) à 300 kHz provenant d'un courantomètre ADCP. Panneau supérieur : échogramme (index de rétrodiffusion, Sv en dB re 1 m^{-1}) montrant deux cycles de migration verticale nocturne (MVN) du krill au-dessus de l'appareil placé à une profondeur d'environ 110 m. Le cercle indique les échos provenant d'organismes de la couche de la surface jusqu'à 50 m ($sa_{jour[10-50]}$) n'appartenant pas à ce krill qui effectue des migrations verticales. Panneau inférieur: illustration graphique du calcul de l'index Sa_{KRILL} . Le signal Sv de réverbération acoustique (a) est intégré (en unités linéaires) sur toutes les profondeurs pour donner l'index total sur la colonne d'eau, Sa (en dB) (b). Pour chaque nuit, la portion correspondant aux organismes épipélagiques à 10 à 50 m de profondeur ne migrant pas verticalement ($sa_{jour[10-50]}$) est estimée à partir de la portion diurne moyenne des 2 jours adjacents (c). Cette dernière est soustraite (en unités linéaires) des valeurs de l'index total mesuré pendant la nuit (sa_{nuit}) pour obtenir un index acoustique d'abondance de krill quotidien (Sa_{KRILL} , en dB) selon la formule indiquée.

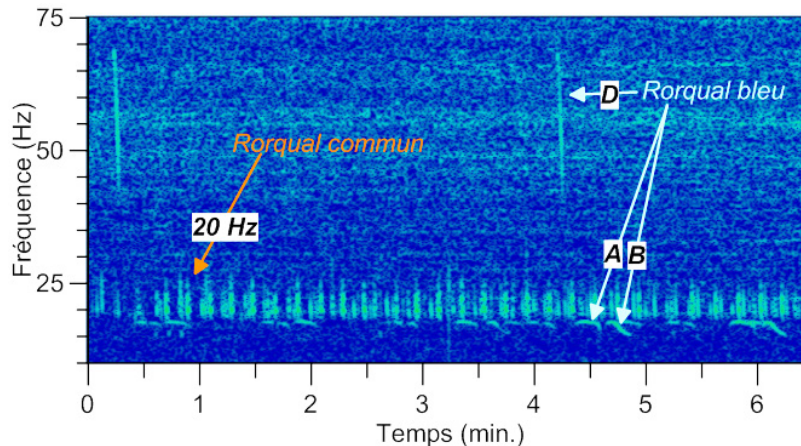


Figure 3. Spectrogramme de 10 à 75 Hz durant 6,5 min illustrant les vocalisations infrasoniques du rorqual commun (20 Hz) et du rorqual bleu (A, B), ainsi que la vocalisation audible de basse fréquence (D) du rorqual bleu.

l'occurrence des détections pour chaque espèce. Plus de détails sur ces méthodes sont disponibles dans Roy et collab. (2018) et Simard et collab. (2016).

Les enregistrements des systèmes acoustiques Doppler ultrasoniques ont été analysés pour calculer un indice de la quantité de krill présente chaque jour dans la zone de l'observatoire. Le protocole utilisé exploite le fait que le krill constitue la plus grande composante du zooplancton dans cette zone, où des agrégations se maintiennent régulièrement sur le rebord du chenal Laurentien (Lavoie et collab., 2000; Simard et Lavoie, 1999; Sourisseau et collab., 2008). La nuit, ce krill effectue des migrations verticales (MVN) depuis les profondeurs vers la surface pour s'alimenter sur le phytoplancton et le zooplancton de petite taille (Simard et collab., 1986). Il devient alors détectable par les faisceaux des systèmes acoustiques Doppler ultrasoniques; l'intensité de rétrodiffusion mesurée par les faisceaux est alors considérablement augmentée (figure 2, et Simard et collab., 2013; Sourisseau et collab., 2008). Nous avons calculé un indice de concentration de krill dans la zone à partir de l'intensité de cette rétrodiffusion ultrasonique nocturne entre 10 m et la profondeur de l'instrument (de 105 à 125 m), sa_{nuit} dont nous avons soustrait la réverbération diurne due aux organismes qui habitent en permanence la partie supérieure de la colonne d'eau entre 10 m et 50 m (sa_{jour} , figure 2). Cette rétrodiffusion n'est pas due au krill, mais en grande partie à des petits poissons, tel le capelan (Simard et collab., 2002, Sourisseau et collab., 2008). Nous avons converti les données de rétrodiffusion brutes enregistrées par l'appareil en unités physiques d'après Deines (1999). L'indice obtenu, Sa_{KRILL} (figure 2, équation), est exprimé en unités logarithmiques (dB) utilisées en acoustique sous-marine appliquée à l'estimation des biomasses de zooplancton et des poissons (Simmonds et

MacLennan, 2005). Cet indice est ensuite converti en biomasse de krill par km^2 , en utilisant les facteurs estimés pour le krill de cette région à 120 kHz le jour (Simard et Lavoie, 1999; Simard et Sourisseau, 2009; Sourisseau et collab., 2008), corrigés de -8 dB pour prendre en compte la réduction d'indice de rétrodiffusion de ce krill à la fréquence de 300 kHz des systèmes acoustiques ADCP utilisés selon le modèle DWBA (voir Conti et Demer, 2006) ainsi que l'inclinaison des faisceaux par rapport à la verticale (cf. Brierley et collab., 2006; Cochran et collab., 1994). La biomasse de krill, B (en t/km^2), est alors obtenue suivant la formule suivante :

$$B = \frac{Sa_{\text{KRILL}}}{10^{-77/10}}$$

Les séries temporelles d'occurrences des infrasons et de l'index de concentration de krill ont été l'objet d'analyses spectrales (cf. Legendre et Legendre, 1998) pour connaître les périodes de cycles récurrents (ex. : marées semi-mensuelles).

Les dates du début et de la fin de la période de glace pour chaque année proviennent de la climatologie océanique régionale pour l'estuaire du Saint-Laurent (Galbraith et collab., 2017, Fig. 38, p. 51.). Elles correspondent aux dates où le volume de glace franchit le seuil de 5 % du plus grand volume jamais enregistré dans la région.

Résultats

Chaque année, les enregistrements acoustiques depuis le milieu de l'été jusqu'à tard en automne contiennent régulièrement les infrasons des deux espèces de rorquals, qui sont présents chaque heure du jour lors des sommets d'occurrence (figures 4-6). Ces infrasons sont rares, sinon absents, pendant la période hivernale englacée (de la mi-décembre à la fin-mars) dont la durée a varié d'environ 2 à 3,6 mois. L'arrivée de la glace en décembre ou en janvier

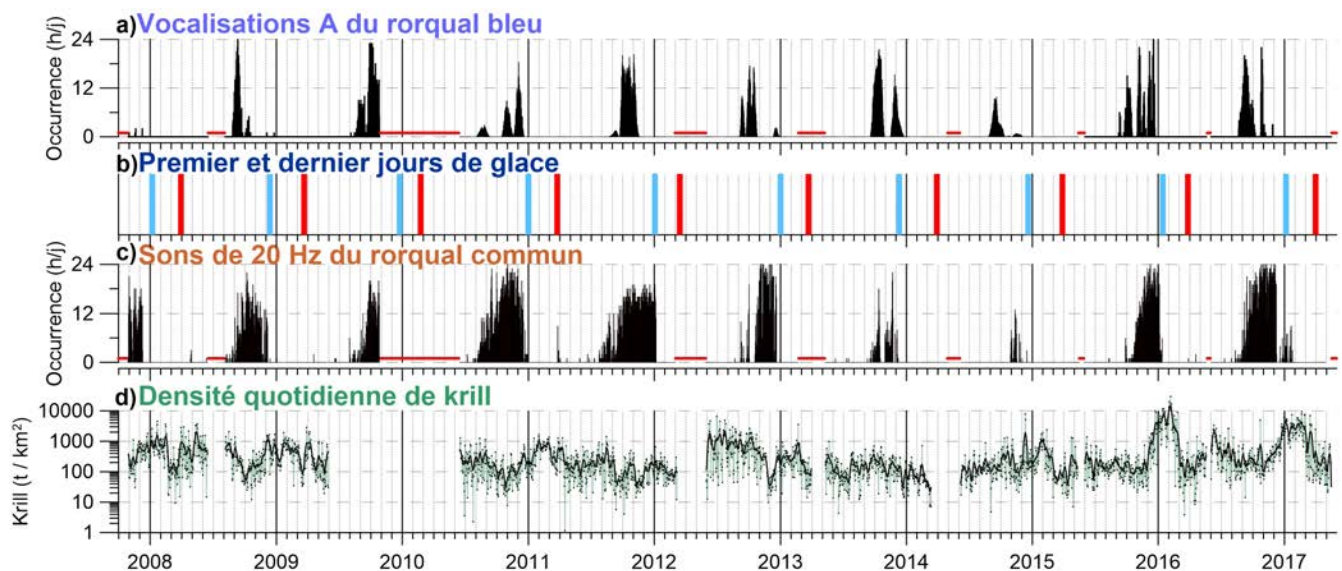


Figure 4. Séries temporelles décennales du nombre d'heures par jour avec présence de vocalisations A de rorqual bleu (a) et de sons de 20 Hz du rorqual commun (c) (traits rouges = absence de données), du premier (bleu) et du dernier (rouge) jours de glace (b); ainsi que de la densité quotidienne de krill estimée (d), avec moyenne mobile hebdomadaire (trait noir).

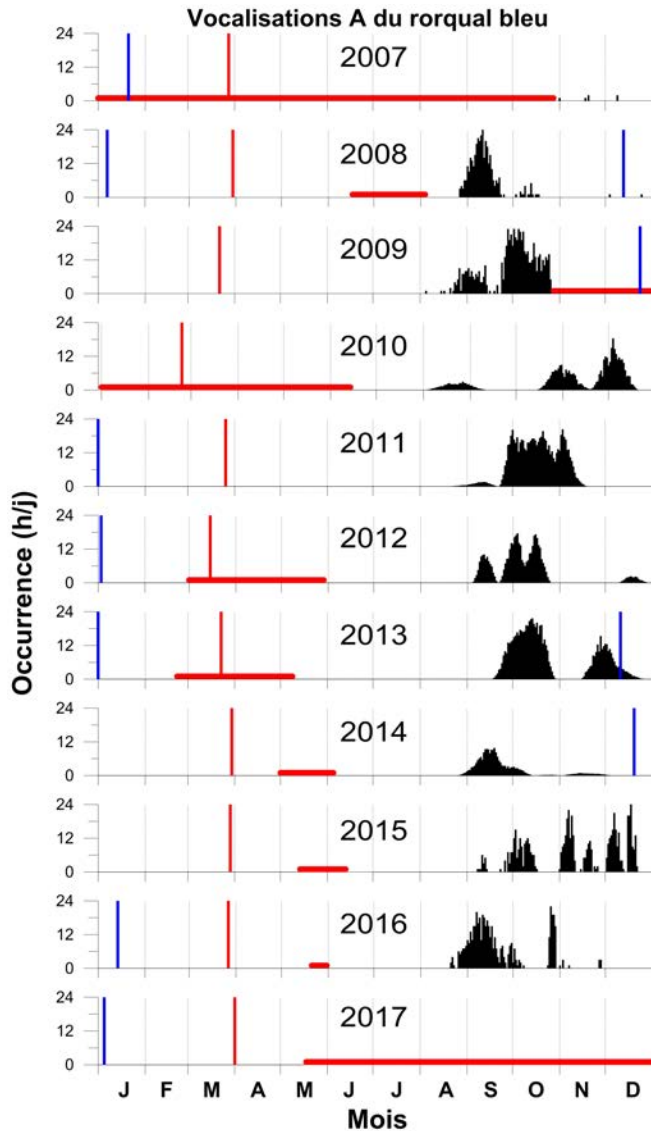


Figure 5. Séries annuelles du nombre d'heures par jour avec présence de vocalisations A du rorqual bleu de 2007 à 2017. Traits horizontaux rouges = absence de données; barres verticales = premier (bleu) et dernier (rouge) jour de glace.

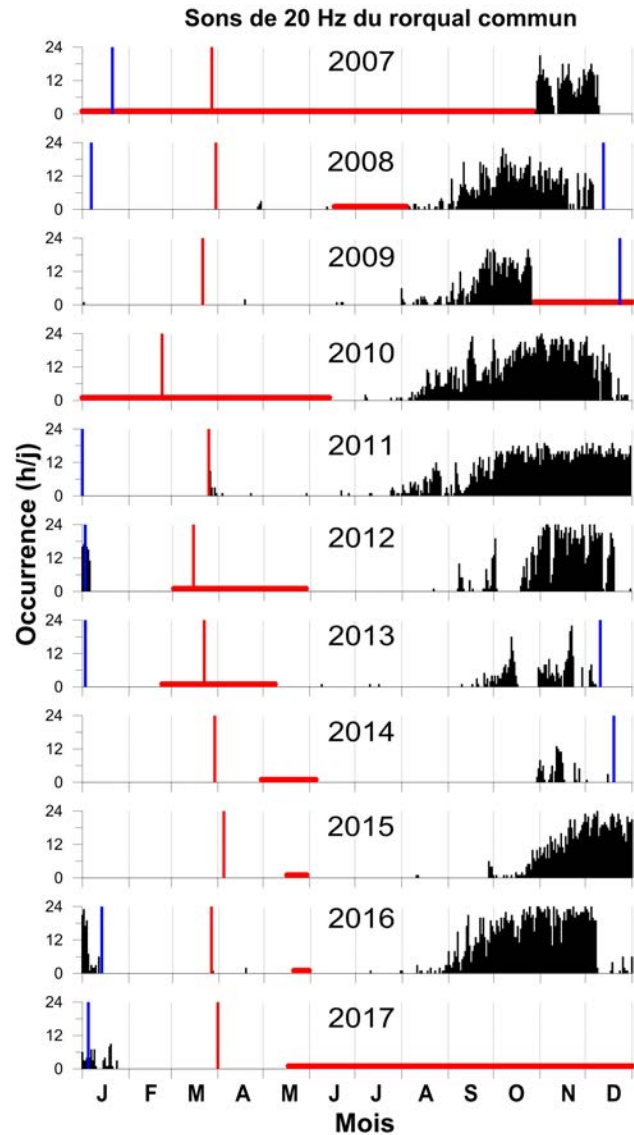


Figure 6. Séries annuelles du nombre d'heures par jour avec présence de sons de 20 Hz de rorqual commun de 2007 à 2017. Traits rouges = absence de données; barres verticales = premier (bleu) et dernier (rouge) jour de glace.

correspond parfois à la disparition abrupte des infrasons des rorquals communs (figures 4 b, c et figure 6, 2010, 2011, 2013, 2016). Des occurrences de courte durée ont été observées certains jours en hiver (figures 6 et 7, sem. 1-3, 9). Les infrasons des rorquals bleus ont en général déjà cessé à l'arrivée de la glace (figure 5). Ces derniers présentent des pics de quelques jours à quelques semaines séparés par des périodes d'absence. Aucun rythme particulier d'occurrence n'a été révélé par l'analyse spectrale de la série temporelle. Les infrasons des rorquals communs montrent une plus grande continuité dans leur occurrence annuelle, bien que des périodes d'absence de quelques semaines aient été notées certaines années de faible occurrence moyenne (figures 4c et 6). Les patrons moyens d'occurrence hebdomadaire indiquent un

maximum d'infrasons des rorquals bleus au début d'octobre (figure 7, semaine 41). Ce maximum est décalé jusqu'après la mi-novembre pour le rorqual commun (figure 7, semaine 46). À ces moments, les infrasons sont présents en moyenne pendant au moins 6 h par jour, plus de 50 % du temps.

Les estimations de biomasse de krill autour de l'observatoire ont montré des valeurs quotidiennes élevées en général, avec une forte variabilité (coefficient de variation = 256 %) (figure 4d). Elles excédaient 176 t/km², 50 % du temps, 442 t/km², 25 % du temps et 1000 t/km², 10 % du temps. Les variations hebdomadaires ont été de 119 ± 88 % (moyenne ± écart-type). L'analyse spectrale de la série n'a révélé qu'une faible récurrence à des périodes de 18 j et de 40 j. En moyenne, la biomasse de krill a été plus forte pendant l'hiver (figure 8).

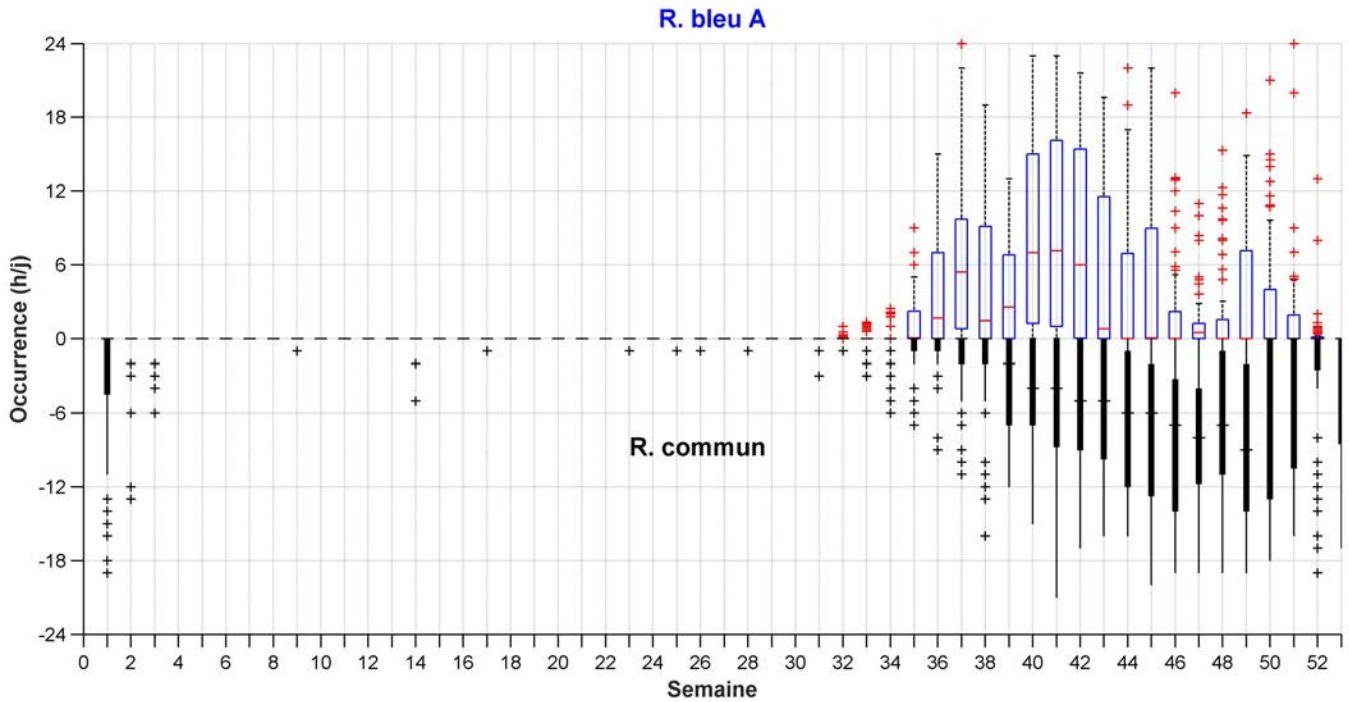


Figure 7. Diagrammes en boîtes à moustaches des statistiques hebdomadaires pluriannuelles du nombre d'heures par jour avec présence de vocalisations A du rorqual bleu (haut) et de sons de 20 Hz du rorqual commun (bas) de 2007 à 2017. Les boîtes indiquent les valeurs interquartiles (du 25^e au 75^e percentile); la barre centrale indique la médiane, les traits verticaux correspondent à 99 % de la distribution normale et les symboles «+» sont des données extrêmes qui vont au-delà. Notez que l'occurrence est exprimée négativement pour le rorqual commun, afin de rehausser la différence avec le rorqual bleu.

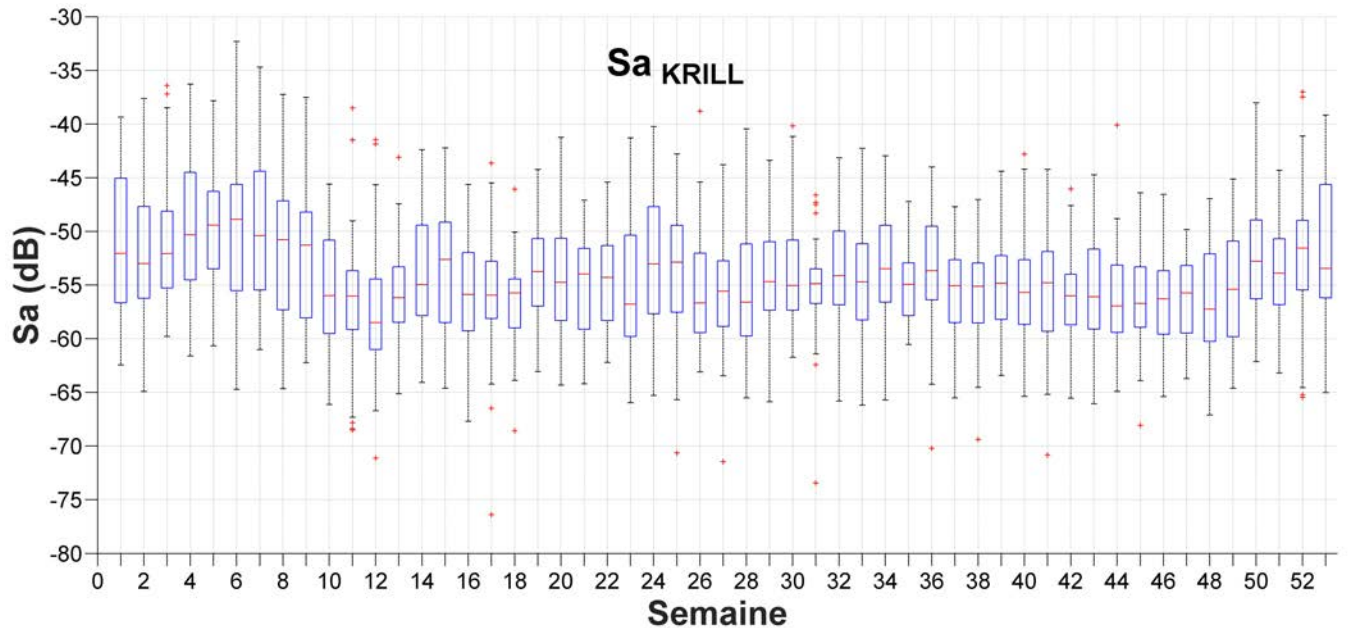


Figure 8. Diagrammes en boîtes à moustaches des statistiques hebdomadaires pluriannuelles de l'index d'abondance acoustique de krill. Autres indications comme à la figure 7.

Discussion

Le présent travail illustre l'intérêt des nouvelles technologies d'acoustique sous-marine comme outil de monitoring des mammifères marins et de leur nourriture dans leurs habitats, comme on l'a proposé pour les nouveaux observatoires océaniques de la décennie (Dushaw et collab., 2009; Handegard et collab., 2009). Aucune autre technologie n'offre présentement cette capacité de suivre en continu la présence des baleines sur de grandes distances, et de « voir » la distribution et la concentration de leur nourriture à toutes les profondeurs, depuis la surface jusqu'au fond. Comme les autres moyens d'observation, l'efficacité de ces technologies acoustiques varie en fonction des conditions biologiques et des limites de l'instrumentation utilisée. Évidemment, seules les baleines qui vocalisent sont détectées. La cadence des vocalises, leur intensité, leur capacité de se propager et la proportion des animaux vocalisant influencent la probabilité de détection (cf. Mellinger et collab., 2007). Heureusement, les rorquals bleus et les rorquals communs sont des espèces favorables à l'emploi de cette technologie pour les suivre, parce qu'ils émettent régulièrement (fréquence d'environ 1 à 6 par minute) de puissants infrasons qui se propagent sur des distances de plus de 100 km (Širovi et collab., 2007; Watkins et collab., 2000). La présence de leurs infrasons indique donc leur présence dans la région. La taille de la région de détection est cependant très grande et inclut la plus grande partie de l'estuaire maritime, entre Tadoussac et Pointe-des-Monts selon les analyses de portée de détection effectuées (Simard et collab., 2016). Les séries temporelles d'infrasons présentées correspondent donc à une région plus grande que celle du parc marin en aval de Tadoussac. Par ailleurs, l'absence d'infrasons n'indique pas l'absence de rorquals, car ceux-ci peuvent être présents sans vocaliser, ou ils peuvent émettre d'autres sons. C'est le cas pour le rorqual bleu, qui émet occasionnellement des sons audibles de type D (figure 3), qui ont été détectés dans la région en hiver alors que les infrasons ne l'étaient pas (Simard et collab., 2016).

Par ailleurs, les systèmes acoustiques Doppler ne sont pas des instruments spécialisés pour la mesure des concentrations de zooplancton, même si plusieurs travaux ont exploité cette capacité de ces instruments conçus pour la mesure des courants et que leur usage en océanographie est répandu (p. ex., Brierley et collab., 2006; Cochrane et collab., 1994; Fielding et collab., 2004; Jiang et collab., 2007; Sourisseau et collab., 2008). L'intensité des échos reçus par l'instrument dépend de la concentration et du type d'obstacles (p. ex., zooplancton, poissons) rencontrés par les signaux ultrasoniques émis par les faisceaux, ainsi que de leurs caractéristiques spécifiques de rétrodiffusion acoustique à 300 kHz. Une méthodologie multifréquence plus élaborée et beaucoup plus coûteuse, par conséquent moins accessible, doit être utilisée pour distinguer les espèces contribuant au signal mesuré (cf. Lavery et collab., 2007; Simmonds et MacLennan, 2005). Dans ce travail, nous avons tiré avantage des caractéristiques particulières de la région, où les sources des échos nocturnes sont nettement dominées par le krill

adulte de deux espèces (*Thysanoessa raschi* et *Meganyctiphanes norvegica*) (Sourisseau et collab., 2008), et où la part des autres contributeurs, principalement de petits poissons comme le capelan (Simard et collab., 2002), peut être estimée par ce qui est mesuré pendant le jour dans les premiers 50 mètres sous la surface. L'indice de biomasse ainsi construit à partir des renseignements des 4 faisceaux fournit une information relative de la variation de concentration de krill à l'observatoire au cours de la série pluriannuelle. Une conversion en unités de biomasse absolue par km² est proposée sur la base des informations extraites de la littérature. Des efforts additionnels de calibration et de comparaison avec d'autres mesures indépendantes seraient requis pour obtenir des valeurs de biomasse plus précises et confirmer celles estimées. Les biomasses obtenues sont considérables, mais leurs valeurs sont vraisemblables d'après les mesures antérieures de cette riche agrégation de krill à la tête du chenal Laurentien (Simard et Lavoie, 1999). La comparaison de l'intensité relative de rétrodiffusion par des systèmes acoustiques Doppler semblables à d'autres stations de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent confirme d'ailleurs la richesse exceptionnelle soutenue de cette région à l'ouest du golfe du Saint-Laurent (Simard et collab., 2013). Les estimations de biomasse calculées représentent le voisinage immédiat de quelques dizaines de km² autour de l'observatoire où le krill est régulièrement déplacé par les courants de marée; elles concernent une région plus grande lorsque l'on considère la concentration hebdomadaire moyenne, qui prend alors en compte un plus grand déplacement horizontal par les courants. Dans tous les cas, la zone représentée par ces estimations de densité de krill est beaucoup plus petite que celle des détections des infrasons, qui est de l'ordre de 5000 km² (Simard et collab., 2016).

En plus de combler le manque de données hors de la saison estivale, l'information nouvelle qu'apportent ces séries temporelles décennales montre que : a) la présence des rorquals est relativement stable et les deux espèces ont visité la région chaque année, particulièrement dans la 2^e moitié de l'année, jusqu'à l'apparition des glaces; b) les dates de début et de fin varient, et cette fréquentation saisonnière est plus intense tard en automne qu'au cours de l'été, alors que l'écotourisme d'observation des baleines bat son plein; c) la concentration de krill est élevée, mais subit d'importantes fluctuations sur de courtes périodes, sans lien particulièrement fort avec des forçages physiques ou biologiques de plus d'un jour, tel celui des marées semi-mensuelles, d'après les analyses de rythmes effectuées. Ceci est conforme aux simulations des apports de krill depuis l'aval, qui montrent que des forçages météorologiques non cycliques agissant à l'échelle du golfe du Saint-Laurent contrôlent ces fluctuations (Lavoie et collab., 2016 et références citées).

La relation entre la concentration de krill mesurée à l'observatoire et l'occurrence des infrasons des rorquals n'était pas évidente, conformément à nos attentes, parce que ces deux types de données représentent des régions très différentes. Des analyses plus élaborées des séries seront requises pour établir

les facteurs contrôlant les fluctuations observées et explorer plus à fond les possibilités de relations entre les rorquals et la concentration locale de krill, notamment par des comparaisons à des échelles spatiales plus similaires en ne retenant que les infrasons reçus avec une forte intensité. Par contre, les liens entre la disparition des infrasons et l'arrivée de la glace sont suffisamment systématiques pour nous permettre d'anticiper que la période de fréquentation intensive pourrait se prolonger en raison du réchauffement planétaire en cours.

Remerciements

Ce travail a été réalisé grâce au financement de Pêches et Océans Canada et la contribution de la Chaire de Pêches et Océans Canada en acoustique sous-marine et mammifères marins à l'ISMER-UQAR, ainsi que d'une subvention CRSNG-Découvertes à YS. Nous remercions spécialement les techniciens et les équipages des navires de recherche qui ont réalisé les déploiements et services annuels de l'observatoire. Les apports du rédacteur *ad hoc*, Émilien Pelletier, de l'équipe de rédaction de la revue, ainsi que ceux de 2 réviseurs anonymes ont contribué à améliorer le manuscrit. ◀

Références

- BERCHOK, C.L., D.L. BRADLEY et T.B. GABRIELSON, 2006. St. Lawrence blue whale vocalizations revisited: Characterization of calls detected from 1998 to 2001. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120: 2340-2354.
- BRIERLEY, A.S., R.A. SAUNDERS, D.G. BONE, E.J. MURPHY, P. ENDERLEIN, S.G. CONTI et D.A. DEMER, 2006. Use of moored acoustic instruments to measure short-term variability in abundance of Antarctic krill. *Limnology and Oceanography – Methods*, 4: 18-29.
- COCHRANE, N., D.D. SAMEOTO et J.D. BELLIVEAU, 1994. Temporal variability of euphausiid concentrations in a Nova Scotia shelf basin using a bottom-mounted acoustic Doppler current profiler. *Marine Ecology Progress Series*, 107: 55-66.
- CONTI, S.G. et D.A. DEMER, 2006. Improved parameterization of the SDWBA for estimating krill target strength. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 928-935.
- CONVERSANO, M., S. TURGEON et N. MÉNARD, 2017. Caractérisation de l'utilisation de l'embouchure du Saguenay et de la baie Sainte-Marguerite par le béluga du Saint-Laurent et par le trafic maritime entre 2003 et 2016; Analyse des données d'observation terrestre et recommandations sur des mesures de gestion visant à réduire le dérangement dans les aires de haute résidence du béluga dans le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent. Parcs Canada, Parc marin du Saguenay–Saint-Laurent, Tadoussac, Québec, 122 p. Disponible auprès du parc marin du Saguenay–Saint-Laurent, 182, rue de l'Église, Tadoussac (QC) G0T 2A0.
- DEINES, K.L., 1999. Backscatter estimation using broadband acoustic Doppler current profilers. Dans: IEEE Sixth Working Conference on Current Measurements, 11–13 March 1997, San Diego, California IEEE, Piscataway, N.J., p. 249–253.
- DRAINVILLE, G., 1968. Le fjord du Saguenay: I. Contribution à l'océanographie. *Le Naturaliste canadien*, 95: 809-855.
- DUSHAW, B., W. AU, A. BESZCZYNSKA-MÖLLER, R. BRAINARD, B.D. CORNUELLE et 23 autres collab., 2009. Community White Paper: A global ocean acoustic observing network. Dans: Hall, J., D.E. Harrison et D. Detlef Stammer (édit.). *Proceedings of OceanObs'09: Sustained ocean observations and information for society* (Vol. 2), Venice, Italy, Sept. 8, p. 21-25.
- EDDS, P.L. et J.A.F. MACFARLANE, 1987. Occurrence and general behavior of balaenopterid cetaceans summering in the St. Lawrence Estuary, Canada. *Canadian Journal of Zoology*, 65: 1363-1376.
- FIELDING, S., G. GRIFFITHS et H.S.J. ROE, 2004. The biological validation of ADCP acoustic backscatter through direct comparison with net samples and model predictions based on acoustic-scattering models. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 184-200.
- GALBRAITH, P.S., J. CHASSÉ, C. CAVERHILL, P. NICOT, D. GILBERT, B. PETTIGREW, L. D. LEFAIVRE, D. BRICKMAN, B. PETTIGREW, L. DEVINE et C. LAFLEUR, 2017. Physical oceanographic conditions in the Gulf of St. Lawrence in 2016. DFO Canadian Science Advisory Secretariat, Research Document, 2014/062 2017/044., vi + 91 p.
- GOSELIN, J.-F., M.O. HAMMILL, A. MOSNIER et V. LESAGE, 2017. Abundance index of St. Lawrence Estuary beluga, *Delphinapterus leucas*, from aerial visual surveys flown in August 2014 and an update on reported deaths. DFO Canadian Science Advisory Secretariat, Research Document, 2017/019, v + 28 p. http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/Publications/ResDocs-DocRech/2017/2017_019-eng.html.
- HANDEGARD, N.O., D.A. DEMER, R. KLOSER, P. LEHODEY, O. MAURY et Y. SIMARD, 2009. Community White Paper: Toward a global ocean ecosystem Mid-trophic Automatic Acoustic Sampler (MAAS). Dans: HALL, J., D.E. HARRISON et D. DETLEF STAMMER (édit.). *Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society* (Vol. 2), Venice, Italy, Sept. 21-25, 13 p.
- JIANG, S., T.D. DICKEY, D.K. STEINBERG et L.P. MADIN, 2007. Temporal variability of zooplankton biomass from ADCP backscatter time series data at the Bermuda Testbed Mooring site. *Deep-Sea Research Part I: Oceanography Research Papers*, 54: 608-636.
- LAVERY, A.C., P.H. WIEBE, T.K. STANTON, G.L. LAWSON, M.C. BENFIELD et N. COPLEY, 2007. Determining dominant scatterers of sound in mixed zooplankton populations. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 122: 3304-3326.
- LAVOIE, D., Y. SIMARD et F.J. SAUCIER, 2000. Aggregation and dispersion of krill at channel heads and shelf edges: The dynamics in the Saguenay - St. Lawrence Marine Park. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57: 1853-1869.
- LAVOIE, D., J. CHASSÉ, Y. SIMARD, N. LAMBERT, P.S. GALBRAITH, N. ROY et D. BRICKMAN, 2016. Large-scale atmospheric and oceanic control on krill transport into the St. Lawrence Estuary evidenced with three-dimensional numerical modelling. *Atmosphere-Ocean*, 54: 299-325.
- LEGENDRE, P. et L. LEGENDRE, 1998. *Numerical ecology*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 852 p.
- LOCAT, J. et C. LEVESQUE, 2009. Le fjord du Saguenay: une physiographie et un registre exceptionnels. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 22: 135-157.
- MELLINGER, D.K., K.M. STAFFORD, S.E. MOORE, R.P. DZIAK et H. MATSUMOTO, 2007. An overview of fixed passive acoustic observation methods for cetaceans. *Oceanography*, 20: 36-45.
- MOSNIER, A., R. LAROCQUE, M. LEBEUF, J.-F. GOSELIN, S. DUBÉ, V. LAPOINTE, V. LESAGE, D. LEFAIVRE, S. SENNEVILLE et C. CHION, 2016. Définition et caractérisation de l'habitat du béluga (*Delphinapterus leucas*) de l'estuaire du Saint-Laurent selon une approche écosystémique. Pêches et Océans Canada, Secrétariat canadien de Consultation scientifique, Document de Recherche, 2016/052, vi + 99 p. http://publications.gc.ca/collections/collection_2016/mpo-dfo/Fs70-5-2016-052-fra.pdf.
- O'CONNOR, S., R. CAMPBELL, H. CORTEZ et T. KNOWLES, 2009. Whale watching worldwide: tourism numbers, expenditures and expanding economic benefits. Special report prepared by Economists at Large, International Fund for Animal Welfare, Yarmouth MA, 295 p. https://s3.amazonaws.com/ifaw-pantheon/sites/default/files/legacy/whale_watching_worldwide.pdf.

ROY, N., Y. SIMARD, F. AULANIER et S. GIARD, 2018. Frequentation of the Estuary and Gulf of St. Lawrence by fin whales from multi-year passive acoustic monitoring. DFO Canadian Science Advisory Secretariat, Research Document, 2018/xxx, v + xx p. (en révision)

SAUCIER, F.J. et J. CHASSÉ, 2000. Tidal circulation and buoyancy effects in the St. Lawrence Estuary. *Atmosphere-Ocean*, 38 : 505-556.

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. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 22 : 177-197.

SIMARD, Y. et D. LAVOIE, 1999. The rich krill aggregation of the Saguenay - St. Lawrence Marine Park: hydroacoustic and geostatistical biomass estimates, structure, variability, and significance for whales. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 56 : 1182-1197.

SIMARD, Y. et M. SOURISSEAU, 2009. Diel changes in acoustic and catch estimates of krill biomass. *ICES Journal of Marine Science*, 66 : 1318-1325.

SIMARD, Y., G. LACROIX et L. LEGENDRE, 1986. Diel vertical migrations and nocturnal feeding of a dense coastal krill scattering layer (*Thysanoessa raschi* and *Meganyctiphanes norvegica*) in stratified surface waters. *Marine Biology*, 91 : 93-105.

SIMARD, Y., D. LAVOIE et F.J. SAUCIER, 2002. Channel head dynamics: Capelin (*Mallotus villosus*) aggregation in the tidally-driven upwelling system of the Saguenay–St. Lawrence Marine Park's whale feeding ground. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59 : 197-210.

SIMARD, Y., N. ROY, P. GALBRAITH, D. LAVOIE, J. CHASSÉ, N. LAMBERT et S. PLOURDE, 2013. Transport/échange entre le golfe et l'estuaire, Section

3.4.1 : Approvisionnement de l'estuaire depuis le golfe : courants et transport du krill. Dans : Gagné, J.A. et collab. (édit.). Rapport intégré de l'initiative de recherche écosystémique (IRÉ) de la région du Québec pour le projet : les espèces fourragères responsables de la présence des rorquals dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent. Pêches et Océans Canada, Secrétariat canadien de Consultation scientifique, Document de Recherche, 2013/086. pp. 35-38 + figs. 3.4.1-1 à 3.4.1.3-5. <http://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/350296.pdf>.

SIMARD, Y., N. ROY, F. AULANIER et S. GIARD, 2016. Blue whale continuous frequentation of the St. Lawrence system from multi-year PAM time series. DFO Canadian Science Advisory Secretariat, Research Document, 2016/091, v + 14 p. http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/Publications/ResDocs-DocRech/2016/2016_091-eng.pdf.

SIMMONDS, E.J. et D.N. MACLENNAN, 2005. Fisheries acoustics: Theory and practice. Second edition. Wiley-Blackwell, Oxford, 456 p.

ŠIROVI, A., J.A. HILDEBRAND et S.M. WIGGINS, 2007. Blue and fin whale call source levels and propagation range in the Southern Ocean. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 122 : 1208-1215.

SOURISSEAU, M., Y. SIMARD et F.J. SAUCIER, 2008. Krill diel vertical migration fine dynamics, nocturnal overturns, and their roles for aggregation in stratified flows. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65 : 574-587.

WATKINS, W.A., P. TYACK, K.E. MOORE et J.E. BIRD, 1987. The 20 Hz signals of finback whales (*Balaenoptera physalus*). *The Journal of the Acoustical Society of America*, 82 : 1901-1912.

WATKINS, W.A., M.A. DAHER, G.M. REPPUCCI, J.E. GEORGE, D.L. MARTIN, N.A. DIMARZIO et D.P. GANNON, 2000. Seasonality and distribution of whale calls in the North Pacific. *Oceanography*, 13 : 62-67.

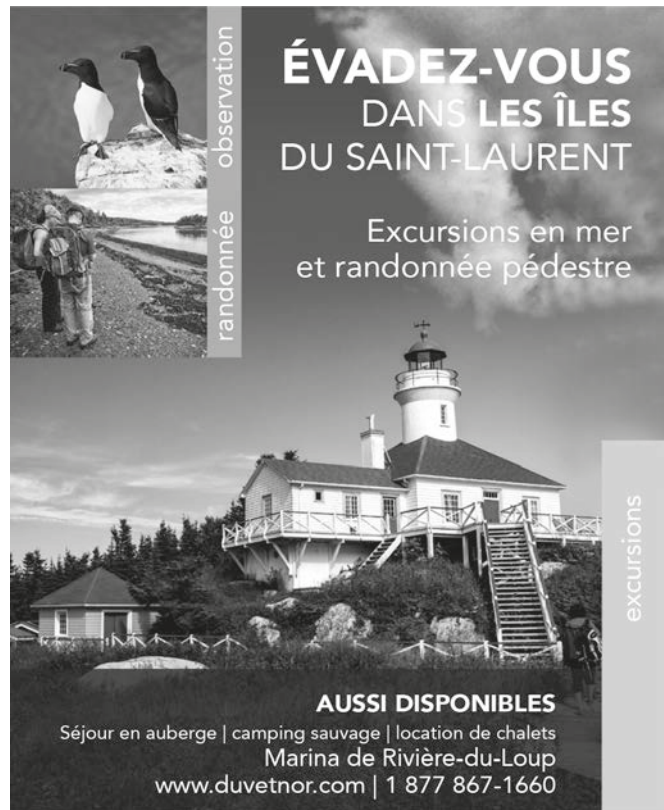


Groupe Hemispheres
L'heure juste en environnement !

QUÉBEC
LÉVIS
MONTRÉAL
ONTARIO

1-866-569-7140
info@hemis.ca
www.hemis.ca

- Évaluation environnementale
- Inventaire floristique et faunique
- Cartographie écologique
- Échantillonnage et surveillance
- Communication et formation



**ÉVADEZ-VOUS
DANS LES ÎLES
DU SAINT-LAURENT**

Excursions en mer
et randonnée pédestre

observation
randonnée
excursions

AUSSI DISPONIBLES
Séjour en auberge | camping sauvage | location de chalets
Marina de Rivière-du-Loup
www.duветnor.com | 1 877 867-1660