

Le Naturaliste canadien

Suivi des espèces ciblées par les activités d'observation en mer dans le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent de 1994 à 2017

Cristiane C. A. Martins, Samuel Turgeon, Robert Michaud et Nadia Ménard

20^e anniversaire du parc marin du Saguenay–Saint-Laurent : recherche, conservation et mise en valeur
Volume 142, numéro 2, été 2018

URI : id.erudit.org/iderudit/1047150ar

DOI : [10.7202/1047150ar](https://doi.org/10.7202/1047150ar)

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada

ISSN 0028-0798 (imprimé)
1929-3208 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Martins, C., Turgeon, S., Michaud, R. & Ménard, N. (2018).
Suivi des espèces ciblées par les activités d'observation en mer
dans le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent de 1994 à 2017.
Le Naturaliste canadien, 142(2), 65–79. doi:10.7202/1047150ar

Tous droits réservés © La Société Provancher d'histoire naturelle du Canada, 2018

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter en ligne. [<https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>]

érudit

Cet article est diffusé et préservé par Érudit.

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. www.erudit.org

Suivi des espèces ciblées par les activités d'observation en mer dans le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent de 1994 à 2017

Cristiane C. A. Martins, Samuel Turgeon, Robert Michaud, Nadia Ménard

Résumé

Sur la côte est de l'Amérique du Nord, c'est dans l'estuaire du Saint-Laurent, et en ciblant principalement le rorqual commun (*Balaenoptera physalus*), que l'activité organisée d'observation des baleines a pris naissance. L'encadrement de l'activité a été possible par la création du parc marin du Saguenay–Saint-Laurent et la mise en place d'une réglementation. Un protocole d'échantillonnage a été mis au point pour assurer le suivi des activités d'observation en mer (AOM) des cétacés. Afin de caractériser les espèces ciblées et l'utilisation du territoire, 1186 excursions échantillonnées à bord des grands bateaux de Tadoussac, de 1994 à 2017, ont été analysées. Depuis 2001, il y a eu un changement de l'espèce ciblée en même temps qu'une diminution marquée de la densité locale du rorqual commun. Le rorqual commun a été l'espèce la plus ciblée au cours de 15 des 24 années échantillonnées, suivi par le petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*, 6 années) et le rorqual à bosse (*Megaptera novaeangliae*, 3 années). Une analyse de groupement a mis en évidence des années similaires quant aux espèces ciblées et aux variables de distribution spatiale. La poursuite à long terme du suivi des AOM et des suivis systématiques permettra de mieux comprendre cet écosystème et d'assurer une gestion adaptative et durable de cette activité.

MOTS CLÉS : conservation, gestion durable des activités d'observation en mer, rorqual commun

Abstract

The St. Lawrence Estuary (Québec, Canada) was the birthplace of organised whale watching activities on the east coast of North America. Initially, fin whales (*Balaenoptera physalus*) were the main target species. The creation of the Saguenay–St. Lawrence Marine Park enabled to regulate whale watching activities in the area and to adopt specific regulations. For management purposes, a sampling protocol was developed to monitor the activity. Data collected aboard large boats (> 50 passengers) during 1186 excursions departing from Tadoussac from 1994 to 2017 were analysed to characterize the target species and territory use over time. Since 2001, the main target species has changed and a marked decrease in the local density of fin whales has been observed. The fin whale was the most targeted species during 15 of the 24 years, followed by the minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*, 6 years) and the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*, 3 years). A partitioning analysis allowed the identification of years with similar patterns based on the species observed and on spatial distribution variables. Long-term continuity of the sampling protocol, in conjunction with systematic monitoring, will help to better understand this ecosystem and ensure adaptive management and sustainable development of the whale watching activities.

KEYWORDS: conservation, fin whale, sustainable management of whale watching

Introduction

Au cours des dernières décennies, les cétacés sont devenus les icônes de la conservation du milieu marin dans le monde (Corkeron, 2006). De ressource à exploiter, au point de fortement hypothéquer des populations ou même de faire disparaître des espèces, ils sont devenus les animaux marins les plus adorés du monde occidental. C'est dans ce contexte que les activités d'observation en mer des cétacés (*whalewatching*) sont devenues l'une des formes de tourisme en milieu naturel les plus répandues et qui a connu une croissance parmi les plus fulgurantes dans le monde (p. ex., O'Connor et collab., 2009). Depuis les années 1970, elles sont devenues une activité économique pour plusieurs communautés côtières, et parfois même une solution de remplacement à l'apport économique de la chasse (Hoyt et Parsons, 2014; IFAW, 1995). En plus des aspects éducatifs et de sensibilisation qui y sont associés,

Cristiane C. A. Martins, Samuel Turgeon et Nadia Ménard sont membres de l'équipe de conservation au parc marin du Saguenay–Saint-Laurent pour Parcs Canada.

Cristiane C. A. Martins est océanographe, spécialiste de l'écologie des mammifères marins et de l'analyse spatiale appliquée à la protection des mammifères marins.

Samuel Turgeon est cartographe et géographe et s'intéresse à l'analyse spatiale de données scientifiques pour supporter la conservation des écosystèmes marins.

Robert Michaud est biologiste, président et directeur scientifique du Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins (GREMM).

Nadia Ménard est écologiste et s'intéresse particulièrement à l'utilisation des connaissances scientifiques pour la conservation des écosystèmes marins.

correspondance: albuquerquecris@gmail.com

cristiane.albuquerque@pc.gc.ca

cette activité permet le développement d'une économie plus diversifiée que la chasse, puisqu'elles sollicitent un ensemble de services touristiques d'une région. De plus, comparativement à la chasse, l'observation des baleines s'inscrit dans une optique d'utilisation durable de la ressource. L'activité, qui a débuté vers 1955 par l'observation des baleines grises (*Eschrichtius robustus*) en Californie, s'est développée rapidement et représente aujourd'hui une industrie de 2,1 milliards de dollars (Hoyt et Parsons, 2014; O'Connor et collab., 2009).

Sur la côte est de l'Amérique du Nord, c'est dans l'estuaire du Saint-Laurent que l'activité organisée d'observation des baleines a pris naissance. Le plus ancien registre de l'activité date de 1971, quand la Société de Zoologie de Montréal a commencé à offrir deux excursions par année au départ de Rivière-du-Loup pour observer des baleines à la tête du chenal Laurentien (Lynas, 1990). Dans les années 1975-1976, les familles Otis et Tremblay ont transformé leurs sorties en mer pour pratiquer la chasse et la pêche en activité d'observation en mer (AOM) des cétacés à partir de Tadoussac (Lynas, 1990). En 1980, d'autres compagnies sont venues s'installer et en 1988, il y avait 11 bateaux d'excursion opérant à l'embouchure du Saguenay (Lynas, 1990). Depuis, une des plus importantes industries d'observation de baleines au Canada s'est développée dans la région grâce à la présence régulière des grands rorquals (famille *Balaenopteridae*), en particulier du rorqual commun (*Balaenoptera physalus*). La région est également fréquentée par une grande diversité d'espèces de mammifères marins (p. ex., Michaud et collab., 1997). À la suite de la création du parc marin du Saguenay–Saint-Laurent en 1998, l'adoption du Règlement sur les activités en mer a limité à 59 le nombre total de permis permettant d'offrir l'activité dans les limites du parc. Les activités se déroulent du mois de mai à la fin octobre; depuis quelques années, elles s'étendent d'avril à novembre. Un nombre plus élevé de sorties est offert pendant les mois de juillet et août, durant le pic de la saison touristique. La saison d'observation coïncide avec l'occurrence de la plupart des espèces de mammifères marins dans l'estuaire. Si l'on prend en compte le nombre de bateaux d'excursion opérant dans le parc marin et la superficie relativement restreinte du territoire utilisé pour les excursions, le secteur est probablement parmi ceux où les activités d'observation de cétacés sont les plus intensives au monde.

C'est dans une optique de gestion durable des AOM qu'un suivi a été initié en 1994. À la demande de Parcs Canada, le protocole de collecte de données, utilisé par le Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins (GREMM) pour étudier le rorqual commun depuis 1985 à bord d'un des bateaux d'excursion opérant dans la région, a été adapté pour caractériser les AOM dans l'ensemble du parc marin. L'objectif du nouveau protocole était de décrire l'utilisation du territoire, de faire un suivi des espèces de cétacés ciblées et de déterminer les facteurs favorisant les concentrations de bateaux sur les sites d'observation (Michaud et collab., 2003). Les résultats annuels de ce suivi ont notamment guidé le développement du Règlement sur les activités en mer dans le parc marin du

Saguenay–Saint-Laurent (DORS/2002-76), adopté en 2002 et mis à jour en 2017.

Des études similaires ont également utilisé des plateformes d'opportunité pour étudier différents aspects des AOM dans d'autres régions. En Australie, des bateaux d'excursion ont servi de plateforme pour évaluer l'effet de la présence des bateaux sur le comportement du rorqual à bosse (*Megaptera novaeangliae*) (Stamation et collab., 2010), tandis qu'en Islande, ils ont servi pour étudier les patrons de déplacement et d'utilisation de l'habitat chez les dauphins à nez blanc (*Lagenorhynchus albirostris*) (Bertulli et collab., 2015). Dans le présent article, des données issues du suivi des AOM recueillies de 1994 à 2017 ont été analysées afin de caractériser les espèces ciblées et l'utilisation du territoire. Comme le rorqual commun était l'espèce cible principale à l'origine de l'activité dans le parc marin, on s'intéresse à vérifier s'il demeure l'espèce la plus ciblée au fil du temps.

Description de l'aire d'étude et des méthodes

Aire d'étude

Différents ports d'attache offrent des sorties en mer pour l'observation des mammifères marins dans le parc marin. Actuellement, ils sont situés à Tadoussac, Baie-Sainte-Catherine, Les Bergeronnes, Les Escoumins sur la rive nord de l'estuaire, à Rivière-du-Loup sur la rive sud, ainsi qu'à L'Anse-Saint-Jean, Rivière-Éternité et l'anse de Saint-Étienne, dans le fjord du Saguenay. Comme l'effort d'échantillonnage des AOM a varié selon l'année pour les différents ports d'attache et types de bateau, l'analyse a été restreinte à un seul type de bateau, soit les grands bateaux (c.-à-d. avec plus de 50 passagers), et à un seul port d'attache, celui de Tadoussac (le seul échantillonné chaque année depuis 1994). Le territoire utilisé par les grands bateaux d'excursion au départ de Tadoussac est situé à la confluence du fjord du Saguenay et de l'estuaire du Saint-Laurent (figure 1). Il comprend la portion de l'estuaire maritime du parc marin entre Les Bergeronnes, le haut-fond Prince et l'embouchure du fjord du Saguenay.

Le territoire utilisé par les grands bateaux au départ de Tadoussac se trouve à la tête du chenal Laurentien. Ce territoire représente le centre de l'aire de répartition estivale du béluga du Saint-Laurent (*Delphinapterus leucas*) (Lemieux Lefebvre et collab., 2012) et est inclus dans l'habitat essentiel de cette espèce (MPO, 2012). C'est également un secteur d'alimentation privilégié pour les grands rorquals en raison de l'effet de la topographie (p. ex., seuils et falaises sous-marines) et des processus océanographiques (p. ex., remontées des eaux froides d'origine tidale) sur les proies (Simard, 2009). En plus des AOM, ce secteur est également traversé par la voie maritime du Saint-Laurent et est utilisé de façon continue par le traversier entre Baie-Sainte-Catherine et Tadoussac. Il s'agit du secteur où l'on note la plus forte densité d'activité de navigation dans le parc marin (Chion et collab., 2009) et l'un des plus utilisés au Canada (Simard et collab., 2014).

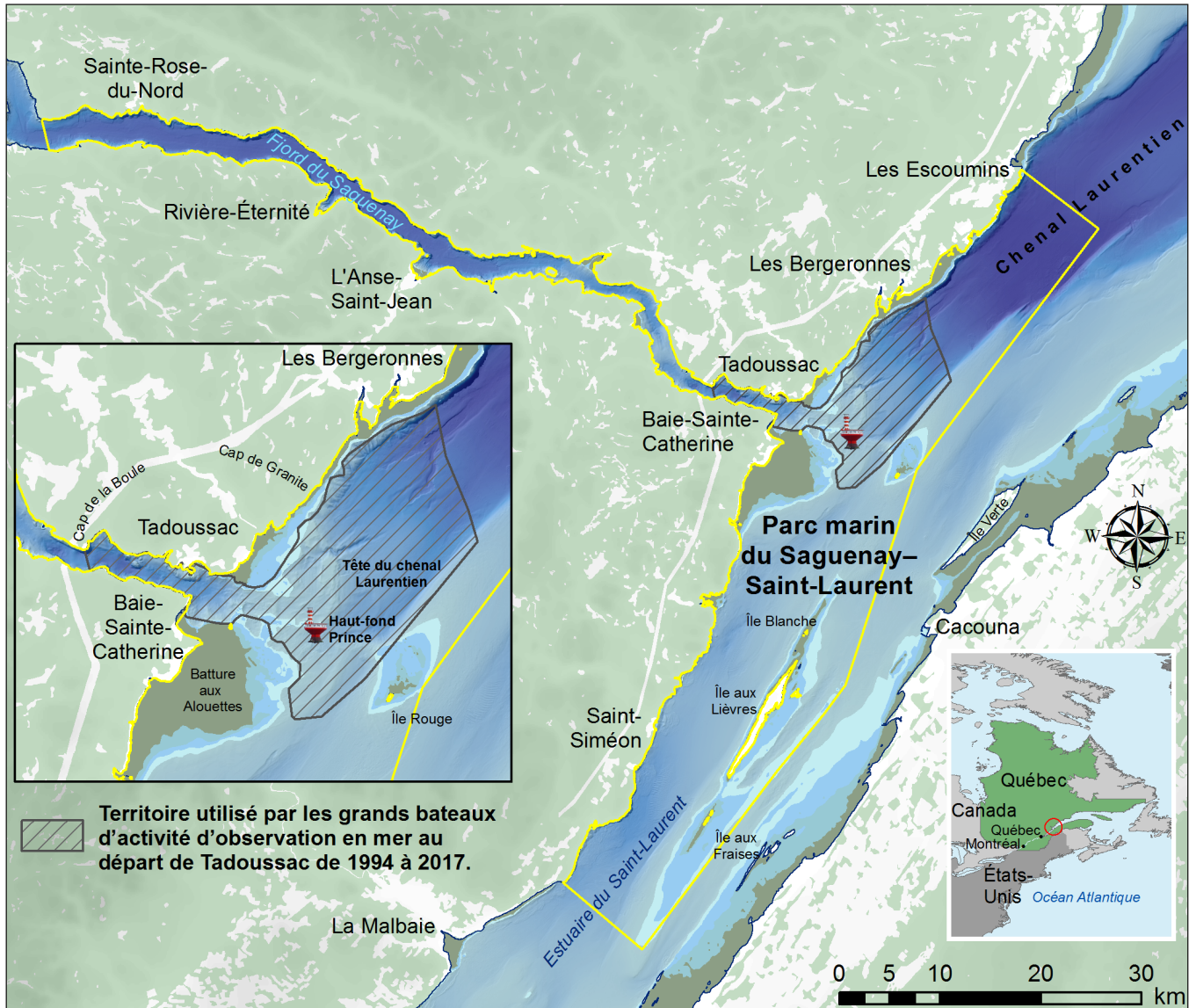


Figure 1. Carte du parc marin du Saguenay–Saint-Laurent et du territoire utilisé par les grands bateaux d’excursion participant aux activités d’observation en mer au départ de Tadoussac de 1994 à 2017.

Protocole d’échantillonnage

Le protocole d’échantillonnage utilisé lors du suivi des AOM a été développé en 1994 par le GREMM en collaboration avec Parcs Canada et est demeuré le même depuis. Une description complète du protocole d’échantillonnage est présentée par Michaud et collab. (2010). Un observateur, responsable de la prise de données, effectue un balayage systématique de la zone comprise dans un rayon de 2 km du bateau d’excursion utilisé comme plateforme d’échantillonnage. Chaque balayage est dénommé bloc d’observation instantané (BOI). Les BOI sont effectués toutes les 10 minutes, du début à la fin de l’excursion. L’heure, la position, l’activité (c.-à.-d. observation de cétacés, déplacement, observation de pinnipèdes et d’oiseaux et observation du paysage), la vitesse, les conditions d’observation (visibilité et hauteur des vagues) ainsi que le nombre de bateaux, de cétacés et de pinnipèdes sont notés par

l’observateur. Lorsque le bateau est en activité d’observation de cétacés, l’espèce ciblée est notée. L’espèce ciblée est définie comme étant celle vers laquelle l’activité d’observation est dirigée lors de chaque BOI.

Période d’échantillonnage

De 1994 à 2013, la période d’échantillonnage couvrait la saison estivale, de la mi-juin à la fin septembre. Depuis 2014, l’échantillonnage couvre également les mois de mai et d’octobre. Le calendrier d’échantillonnage a été défini en répartissant l’effort sur le terrain pour permettre de couvrir tous les jours de la semaine de façon aléatoire.

Préparation des données

Les données utilisées pour cette étude proviennent des excursions de mi-journée effectuées à bord des grands

bateaux d'excursion dont le port d'attache était Tadoussac. L'excursion de mi-journée, telle que définie par Michaud et collab. (1997), a été ciblée pour faciliter les comparaisons intra- et intersaisonniers. Toutes les excursions dont l'heure de départ est égale ou supérieure à 12 h et inférieure à 15 h ont été considérées comme étant des excursions de mi-journée. Seules les excursions avec plus de 50 % des BOI effectués sous de bonnes conditions d'observation (visibilité et vagues) et réalisées de juin à septembre ont été retenues. Pour cette analyse, nous présumons que les espèces ciblées par les excursions échantillonnées à partir des grands bateaux au départ du quai de Tadoussac sont représentatives des espèces ciblées par l'ensemble des excursions de cette catégorie de bateau effectuées sur le même territoire (figure 1).

Analyses des données

Évolution intersaisonnière des espèces ciblées

Afin de vérifier la variation dans le bilan des activités d'observation des mammifères marins de 1994 à 2017, le pourcentage de BOI en activité d'observation de cétacés et le pourcentage des BOI en observation dirigée vers chacune des espèces ont été calculés. Les espèces considérées sont le petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*), le rorqual commun, le rorqual à bosse, le rorqual bleu (*Balaenoptera musculus*), le béluga et la catégorie « autres », qui regroupe toutes les autres espèces de cétacés (p. ex., le marsouin commun, *Phocoena phocoena*). Le pourcentage de BOI en activité d'observation de pinnipèdes (à l'eau et au sec) a également été calculé.

Groupement des données

Une analyse de groupement utilisant la méthode *k-means* (Hartigan et Wong, 1979) a été effectuée pour explorer cette longue série temporelle et vérifier l'existence de patrons dans les AOM selon les années. Les variables considérées pour cette analyse sont présentées dans le tableau 1. Elles ont

été calculées pour chaque année et centrées réduites afin de permettre leur comparaison. Elles caractérisent la distribution spatiale des AOM (distance de Tadoussac et dispersion), le bilan d'activité (temps total en observation de cétacés), les espèces ciblées et la densité locale du rorqual commun. La densité locale du rorqual commun a été calculée pour chaque année et représente le nombre moyen d'individus de cette espèce dans un rayon de 2 km autour des bateaux d'excursion échantillonnés lors des BOI où le rorqual commun était ciblé. Afin de déterminer le nombre de groupes optimal, le critère de Calinski-Harabasz (Calinski et Harabasz, 1974) et la somme des carrés des écarts à la moyenne intragroupe ont été calculés avec les fonctions *cascadekm* de la librairie *vegan* (Oksanen et collab., 2017) et *kmeans* du progiciel R (R Development Core Team, 2017) pour un nombre de groupes variant de 2 à 10. Afin de représenter les résultats des analyses de groupement, la fonction *clusplot* de la librairie *cluster* (Maechler et collab., 2016) dans le progiciel R (R Development Core Team, 2017) a été utilisée. Cette fonction utilise l'analyse en composantes principales afin d'illustrer les résultats de l'analyse de groupement dans un graphique à deux dimensions selon les deux premières composantes. Ce type de représentation graphique des résultats de l'analyse de groupement permet de visualiser les différences et les similarités intergroupes et intragroupes.

Analyse spatiale des activités d'observation

Une analyse spatiale de densité par la méthode du noyau (*kernel density*) (Silverman, 1986) a été effectuée afin d'identifier les centres des activités d'observation de cétacés à l'aide de l'extension *Spatial Analyst* du logiciel ArcGIS 10.3 (ESRI, 2015). Les analyses spatiales ont été effectuées pour chaque groupe identifié par l'analyse de groupement en utilisant la position géographique des BOI en activité d'observation. Une taille de cellule de 100 m et un rayon de recherche de 400 m ont été utilisés. Afin de faciliter les comparaisons et l'interprétation

Tableau 1. Variables considérées dans l'analyse de groupement pour vérifier l'existence de patrons dans les activités d'observation en mer selon les années.

Variabes	Définition	Étendue des valeurs (minimum: maximum)
Distance de Tadoussac	Distance (m) entre le quai de Tadoussac et le centre géographique (centre moyen) des blocs d'observation instantanés (BOI) en activité d'observation de cétacés	5 491: 11 833
Dispersion	Dispersion (1 écart type), c.-à-d. le degré (distance [m]) auquel les activités d'observations en mer sont concentrées ou dispersées autour du centre géographique	3 697: 9 396
Petit rorqual	Pourcentage des BOI en activité d'observation où le petit rorqual est l'espèce ciblée (voir figure 2)	1,7: 56,2
Rorqual commun	Pourcentage des BOI en activité d'observation où le rorqual commun est l'espèce ciblée (voir figure 2)	14,0: 93,7
Rorqual à bosse	Pourcentage des BOI en activité d'observation où le rorqual à bosse est l'espèce ciblée (voir figure 2)	0,0: 76,9
Rorqual bleu	Pourcentage des BOI en activité d'observation où le rorqual bleu est l'espèce ciblée (voir figure 2)	0,0: 10,7
Béluga	Pourcentage des BOI en activité d'observation où le béluga est l'espèce ciblée (voir figure 2)	1,2: 12,2
Temps en observation de cétacés	Pourcentage des BOI en observation de cétacés (voir figure 2)	31,3: 48,8
Densité locale du rorqual commun	Moyenne du nombre de rorquals communs dans un rayon de 2 km des BOI en activité d'observation dont l'espèce cible est le rorqual commun	1,1: 8,7

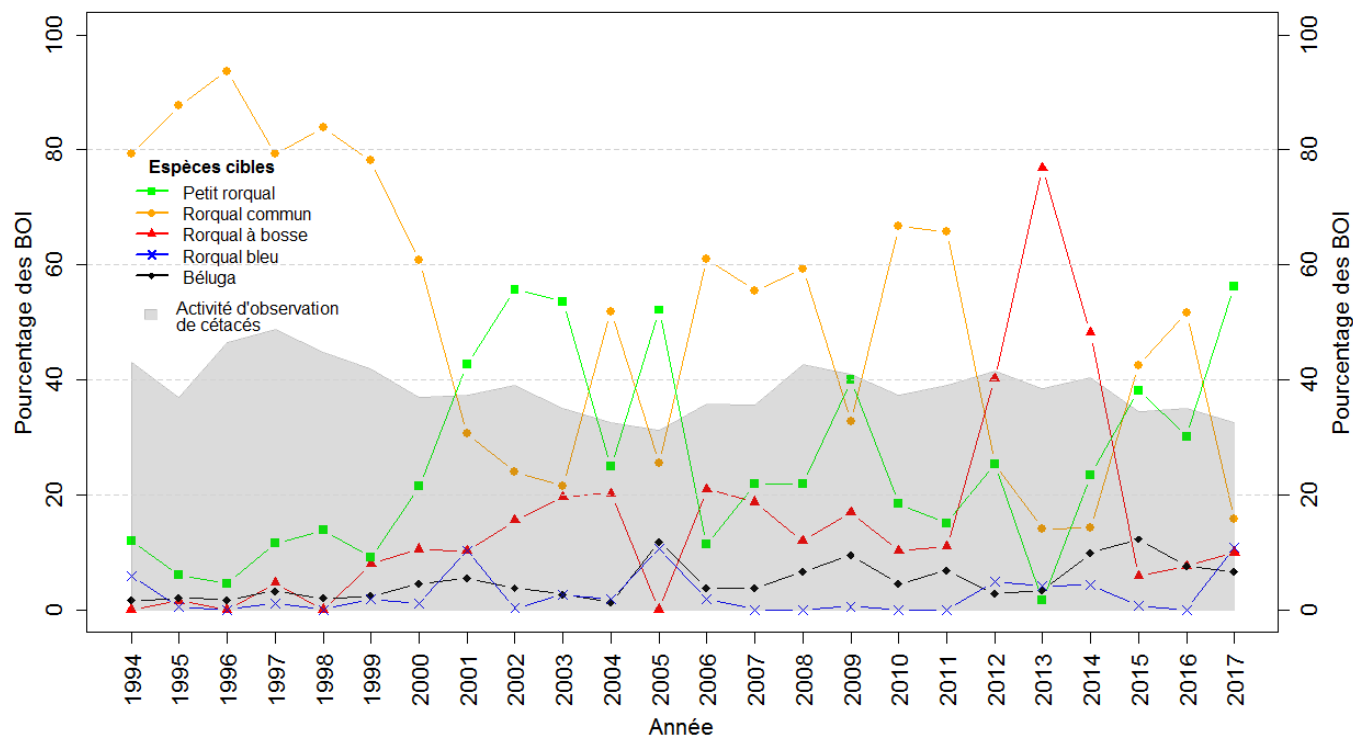


Figure 2. Variation du pourcentage de blocs d'observation instantanés (BOI) en activité d'observation et du pourcentage de BOI en observation pour chaque espèce cible pour les excursions échantillonnées à bord des grands bateaux (>50 passagers) au départ du quai de Tadoussac de 1994 à 2017.

des résultats, l'ensemble des valeurs a été normalisé. Le territoire utilisé pour les AOM a été calculé avec un polygone convexe minimum (MCP) contenant 90 % des données à l'aide de la fonction `mcp` de la librairie `adehabitatHR` (Calenge, 2006) du progiciel R (R Development Core Team, 2017).

Résultats

Évolution intersaisonnière des espèces ciblées

Au total, 1186 excursions à bord de grands bateaux ont été échantillonnées à partir du port de Tadoussac de 1994 à 2017 (tableau 2). Le nombre d'excursions échantillonnées par année a fluctué entre un minimum de 19 en 2016 et un maximum de 73 en 2000, pour une moyenne de 49,4 ($\pm 20,0$) au cours de cette période. En tout, 17 837 BOI ont été effectués, pour une moyenne annuelle de 728,8 ($\pm 298,5$). Le pourcentage de BOI en activité d'observation a varié annuellement entre 31,3% (en 2005) et 48,8% (en 1997) pour une moyenne de 38,7% ($\pm 4,5$). Le temps consacré à l'observation de pinnipèdes est très faible par rapport au temps consacré à l'observation de cétacés, mais il a légèrement augmenté au cours des dernières années.

Le rorqual commun a été l'espèce la plus ciblée par les excursions réalisées à bord des grands bateaux au départ du port de Tadoussac au cours de 15 des 24 années échantillonnées (figure 2). Pour l'ensemble de la période d'étude, le rorqual commun a été l'espèce ciblée de 50,9% ($\pm 25,6$) des BOI en activité d'observation. Le petit rorqual a été l'espèce la plus

ciblée au cours de 6 des 24 années (25,4% $\pm 17,0$), tandis que le rorqual à bosse l'a été au cours de 3 années (15,3% $\pm 17,6$). Le béluga a pour sa part été la cible de 5,0% ($\pm 3,2$) de l'ensemble de BOI avec des proportions annuelles qui ont varié de 1,2 à 12,2%. Ces proportions ont atteint ou dépassé 10% en 2005, 2014 et 2015. Le rorqual bleu a été ciblé dans plus de 10% des BOI en activité d'observation en 2001, 2005 et 2017.

La densité locale intra- et intersaisonnière du rorqual commun (figure 3) a fluctué de 1994 à 2017. Les densités locales étaient supérieures à la moyenne de la période ($3,2 \pm 2,0$) de 1995 à 2000. À partir de 2001, la densité locale a baissé significativement et, depuis, elle est restée plus ou moins stable, et semblable ou inférieure à la moyenne de la période.

Groupe des données

Le groupement a été effectué en 5 groupes afin de maximiser le critère de Calinski-Harabasz et de minimiser la somme des carrés des écarts à la moyenne intragroupe. Le tableau 3 liste les années comprises dans chaque groupe et détaille les variables qui définissent la composition des différents groupes. Chaque groupe comprend de 3 à 9 années. Le groupe 1, composé des années 1995 à 1999, est notamment caractérisé par de fortes densités locales de rorquals communs, de forts pourcentages de BOI en activité d'observation ciblant cette espèce et des pourcentages de BOI en activité d'observation de cétacés élevés. Le groupe 2 est formé des années 2001, 2005 et 2017. Il est principalement caractérisé par une forte dispersion spatiale des activités d'observation de cétacés, de faibles

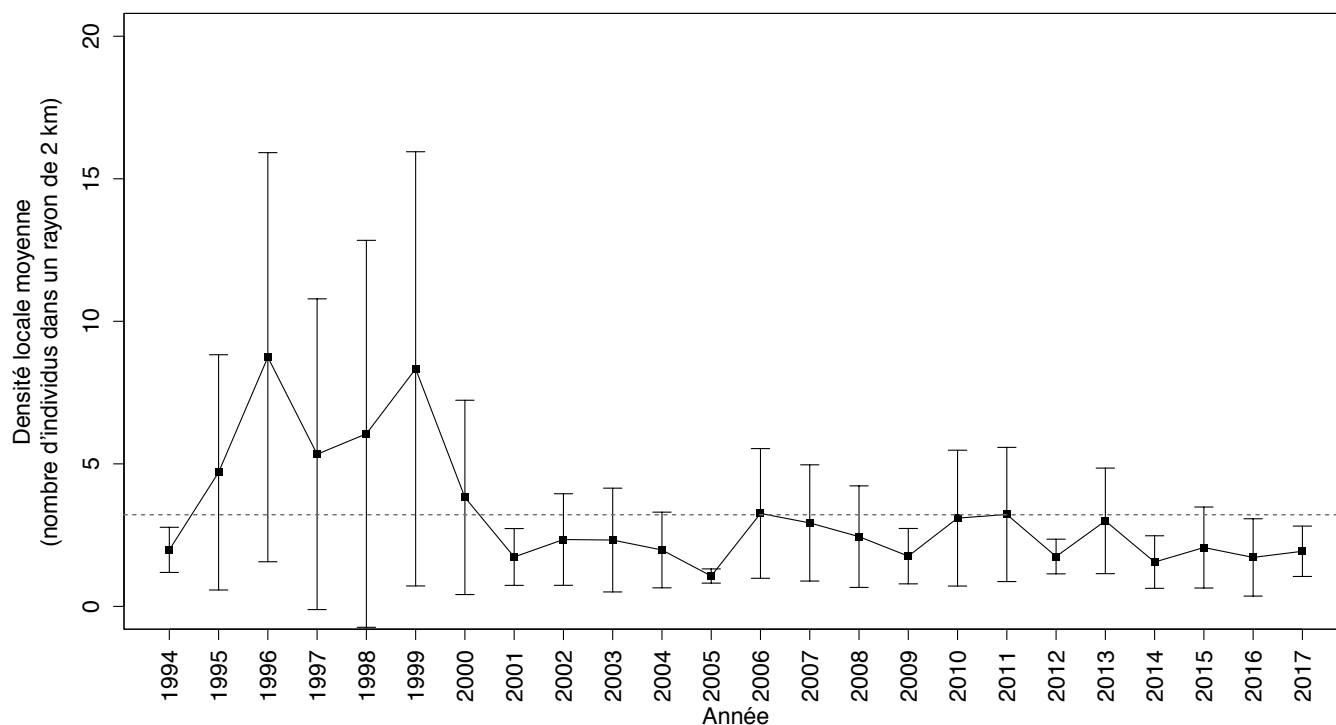


Figure 3. Fluctuation de la densité locale moyenne (\pm écart type) du rorqual commun mesurée lors des blocs d'observation instantanés (BOI) en observation dirigée vers cette espèce pour les excursions échantillonnées à bord de grands bateaux (>50 passagers) au départ du quai de Tadoussac pour la période de 1994 à 2017 (la ligne pointillée indique la moyenne).

pourcentages de BOI en activité d'observation de cétacés (donc plus de temps passé en recherche et en déplacement) et des pourcentages de BOI en activité d'observation ciblant le rorqual bleu et le petit rorqual plus élevés. Le groupe 3, formé des années 2002, 2003, 2009 et 2015, est principalement caractérisé par des activités d'observation de cétacés dans l'embouchure du fjord du Saguenay et des pourcentages de BOI en activité d'observation ciblant le petit rorqual et le béluga plus élevés. Le groupe 4, composé des années 2012 à 2014, est essentiellement caractérisé par de forts pourcentages de BOI en activité d'observation ciblant le rorqual à bosse. Finalement, le groupe 5 regroupe le plus d'années. Il est semblable au groupe 1, sauf en ce qui concerne la densité locale du rorqual commun, c'est-à-dire le nombre moyen de rorquals communs dans un rayon de 2 km, qui est beaucoup moins élevée (figure 3). Ensemble, les groupes 1 et 5 englobent presque toutes les années où le rorqual commun a été l'espèce la plus ciblée. Les groupes 2 et 3 englobent des années où le petit rorqual a été l'espèce la plus ciblée, à l'exception de l'année 2015. En 2015, les pourcentages du temps passé en observation du rorqual commun (42,4 %) et du petit rorqual (38,1 %) sont très similaires.

La figure 4 représente chacune des années (points) de la période d'étude dans le plan des 2 premières composantes principales en fonction du résultat de l'analyse de groupement (ellipses). La première composante est principalement influencée par les variables rorqual commun et petit rorqual, et la deuxième composante, par les variables rorqual à bosse et dispersion.

Analyse spatiale des activités d'observation de cétacés

L'analyse spatiale des activités d'observation de cétacés par groupe d'années a permis de faire ressortir des patrons d'utilisation du territoire relativement distincts entre les groupes (figure 5). Trois secteurs d'observation de cétacés ressortent clairement de ces analyses (figure 5f) : 1) le canyon de l'île Rouge, 2) la fosse à François en face du cap de Granite et 3) le secteur des bouées S7 et S8. Les activités d'observation des années du groupe 1 (figure 5a), lors desquelles le rorqual commun a été fortement ciblé et la densité locale était élevée, étaient concentrées dans le canyon de l'île Rouge. La distribution spatiale des activités d'observation des années des groupes 2 et 3 (figure 5b et c) était similaire, et les fortes densités étaient concentrées dans l'embouchure du fjord du Saguenay, près des bouées S7 et S8. Toutefois, les polygones convexes minimaux montrent bien la plus grande dispersion spatiale des activités d'observation pour les années du groupe 2. Les activités d'observation des années du groupe 4 (figure 5d), alors que le rorqual à bosse était fortement ciblé, étaient concentrées dans la fosse à François, en face du cap de Granite. Finalement, la distribution spatiale des activités d'observation des années du groupe 5 (figure 5e) était plus variée et couvrait l'ensemble des secteurs des groupes précédents.

M A M M I F È R E S M A R I N S

Tableau 2. Nombre d'excursions échantillonnées à bord de grands bateaux (>50 passagers) au départ du quai de Tadoussac ainsi que le nombre total de blocs d'observation instantanés (BOI) effectués, le nombre et le pourcentage de BOI en activité d'observation de cétacés et le pourcentage de BOI en activité d'observation de pinnipèdes de 1994 à 2017 (ET = écart type).

Année	Nombre d'excursions	Nombre de BOI	Nombre de BOI en observation de cétacés	% BOI en observation de cétacés	% BOI en observation de pinnipèdes
1994	37	561	242	43,1	0,5
1995	33	547	202	36,9	0,0
1996	25	377	175	46,4	0,3
1997	65	957	467	48,8	0,1
1998	61	925	414	44,8	0,0
1999	68	1024	429	41,9	0,1
2000	73	1084	400	36,9	0,1
2001	63	940	352	37,4	0,1
2002	64	944	368	39,0	0,6
2003	58	874	306	35,0	1,5
2004	67	988	322	32,6	0,0
2005	70	1053	330	31,3	0,6
2006	70	1040	372	35,8	0,1
2007	66	989	353	35,7	0,1
2008	70	998	425	42,6	0,4
2009	63	878	360	41,0	1,9
2010	59	843	315	37,4	0,5
2011	26	373	146	39,1	0,3
2012	24	341	142	41,6	3,5
2013	22	314	121	38,5	1,6
2014	28	402	162	40,3	1,7
2015	28	403	139	34,5	3,7
2016	19	266	93	35,0	4,5
2017	27	371	121	32,6	4,6
Total	1186	17 837	6756		
Moyenne (±ET)	49,4 (±20,0)	728,8 (±298,5)	281,5 (±118,8)	38,7 (±4,5)	1,1 (±1,5)

Tableau 3. Composition des groupes d'années résultant de l'analyse de groupement, et principales variables explicatives (définies au tableau 1) ainsi que l'intensité (faible [↓] ou forte [↑]) les caractérisant.

Groupe	Années	Principales variables explicatives et intensité
1	1995, 1996, 1997, 1998, 1999	↑ Densité locale du rorqual commun, ↑ Rorqual commun, ↓ Rorqual à bosse, ↑ Temps en observation de cétacés, ↓ Petit rorqual
2	2001, 2005, 2017	↑ Dispersion, ↓ Temps en observation de cétacés, ↑ Rorqual bleu, ↑ Petit rorqual
3	2002, 2003, 2009, 2015	↓ Distance de Tadoussac, ↑ Béluga (2009 et 2015), ↑ Petit rorqual (2002, 2003)
4	2012, 2013, 2014	↑ Rorqual à bosse, ↓ Rorqual commun
5	1994, 2000, 2004, 2006, 2007, 2008, 2010, 2011, 2016	↑ Rorqual commun, ↓ Densité locale du rorqual commun

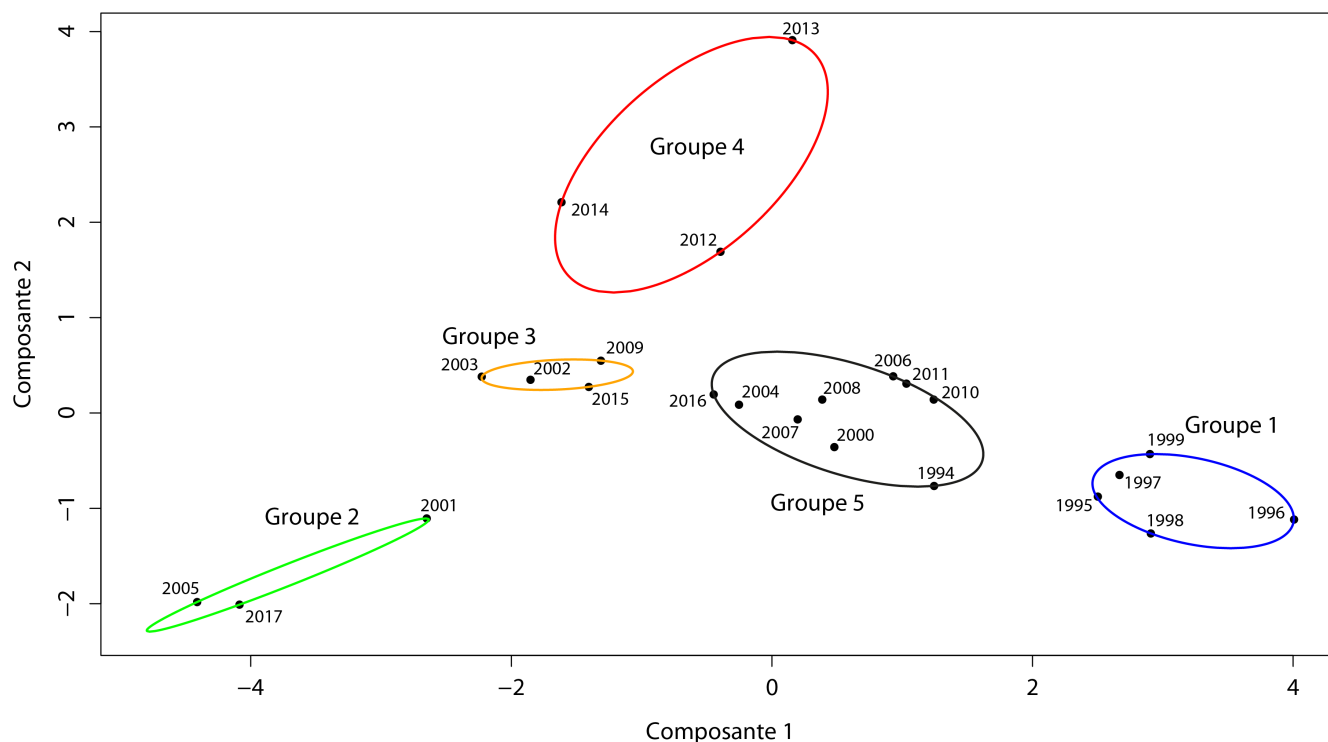


Figure 4. Représentation dans un graphique à deux dimensions des années (points) et des groupes d'années (ellipses) résultant des analyses de groupement selon les deux premières composantes principales. La première composante est principalement influencée par les variables rorqual commun et petit rorqual, et la deuxième par les variables rorqual à bosse et dispersion.

Discussion

Limites et considérations

Bien que l'étendue temporelle de cette base de données soit exceptionnelle, il est important de rappeler que l'échantillonnage portait sur les activités d'observation en mer et ne représente pas un inventaire des mammifères marins. Les espèces de mammifères marins qui fréquentent l'estuaire ont des patrons variables de répartition et d'utilisation de l'habitat (Doniol-Valcroze et collab., 2007; Lemieux Lefebvre et collab., 2012; Martins, 2012; Sergeant, 1977), et la présente étude ne couvre qu'une partie de leur aire de répartition. Les résultats des analyses présentées dans cet article ne peuvent donc pas être extrapolés sur l'ensemble du territoire du parc marin et encore moins pour l'estuaire du Saint-Laurent. Cependant, à l'intérieur du territoire couvert, le portrait des espèces ciblées semble bien refléter la disponibilité de ces espèces pour l'observation.

Le suivi des AOM a été effectué à bord des bateaux d'excursion. L'emplacement géographique de chaque dénombrement (BOI) n'a pas été déterminé au préalable, mais reflète plutôt le territoire couvert par ces bateaux dans le cadre de leurs activités. De plus, la prise de données était organisée en blocs d'observation instantanés au lieu d'être en continu. Dans les analyses, nous nous sommes concentrés seulement sur l'espèce ciblée à chaque BOI en activité d'observation, même si plus d'une espèce pouvait être présente dans un même secteur (ou dans un rayon de 2 km du bateau utilisé pour la prise des

données) sans être ciblée. Michaud et collab. (1997; 2003; 2010) ont démontré que le type de bateau utilisé comme plateforme d'observation et le port d'attache peuvent avoir des effets sur les espèces ciblées. Ces études démontrent que le territoire utilisé varie selon la catégorie de bateau : pneumatiques à coque rigide (< 50 passagers) ou grands bateaux de plus de 50 passagers. Un bateau pneumatique au départ de Tadoussac peut explorer un territoire plus vaste qu'un grand bateau au départ du même port d'attache; sa vitesse de déplacement plus rapide va modifier sa stratégie d'observation (Chion, 2011) et donc, certaines des variables échantillonnées dans le cadre du suivi des AOM. Ces aspects réitérent l'importance d'avoir restreint la présente analyse aux données d'un seul type de bateau et port d'attache pour minimiser les sources de biais.

Le suivi des AOM dans le parc marin

Le suivi des AOM est essentiel pour la gestion de cette activité dans le parc marin. Initié en 1994, ce suivi a permis de constituer une base de données à long terme sur plusieurs aspects liés aux AOM ciblant les cétacés dans le parc et les eaux avoisinantes. Cette base de données constitue un outil de référence important pour documenter l'évolution de l'activité au fil du temps. Des études similaires ont été effectuées dans d'autres régions (p. ex., Bertulli et collab., 2015; Seely et collab., 2017) mais, à notre connaissance, le suivi des AOM dans le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent est le plus ancien parmi ce genre de suivis, et il est toujours en cours. De plus, le

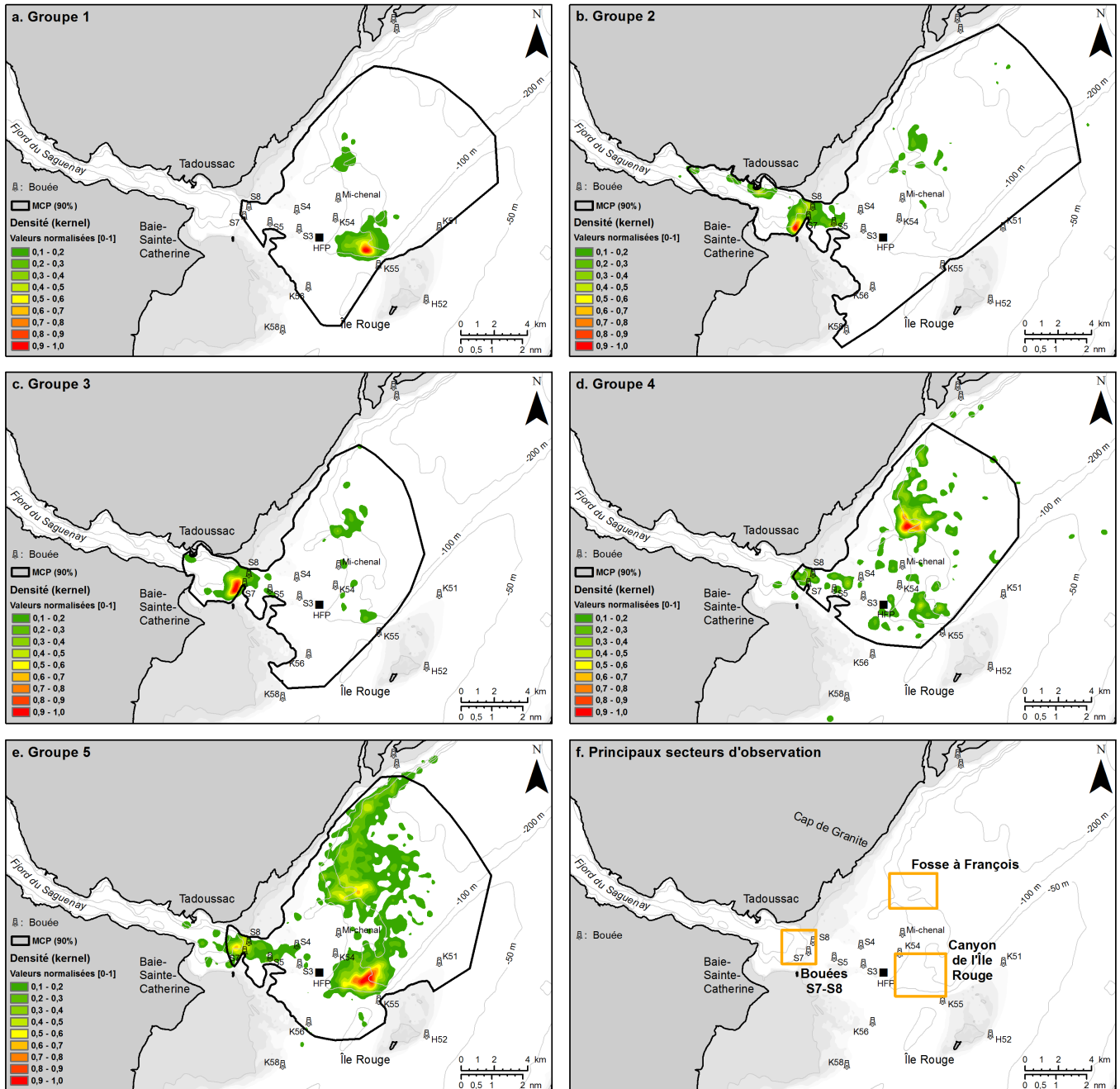


Figure 5. Emplacement du centre d'activité (densité par la méthode du noyau) lors des blocs d'observation instantanés en activité d'observation de cétacés pour chaque groupe d'années (panneaux a à e) identifié dans l'analyse de groupement pour les excursions échantillonnées à bord de grands bateaux (>50 passagers) au départ du quai de Tadoussac de 1994 à 2017. Panneau f: principaux secteurs d'observation identifiés. (MCP: polygone convexe minimum, HFP: Haut-fond Prince).

fait de caractériser l'activité en soi au lieu d'une espèce (p. ex., Bertulli et collab., 2015) ou un aspect quelconque lié aux AOM (p. ex., Seely et collab., 2017) valorise davantage cet ensemble de données.

L'objectif de la présente étude était de documenter l'évolution des espèces ciblées par les AOM de 1994 à 2017. Comme l'analyse présentée ici l'a bien démontré, l'espèce cible a varié au fil du temps. L'analyse de groupement a permis

d'identifier des années similaires (ou années types), qui se différencient par l'assemblage d'espèces et par l'utilisation du territoire au cours de la saison estivale. Les résultats indiquent également des fluctuations dans l'assemblage d'espèces de cétacés utilisant la tête du chenal Laurentien au fil du temps. Le pourcentage du temps passé en observation, indépendamment de l'espèce ciblée, est demeuré stable autour de 38,7 % ($\pm 4,5$) au cours des 24 ans. Cette stabilité indique

que le profil d'excursion des compagnies et des bateaux choisis (c.-à-d. la proportion de temps consacrée à la recherche et à l'observation de cétacés) n'a pas changé significativement.

Changement majeur observé pour le rorqual commun

L'évolution des espèces ciblées par les AOM démontre clairement qu'il y a eu un changement majeur à partir de 2001 à l'égard de l'observation du rorqual commun. Non seulement le pourcentage de temps passé en observation du rorqual commun a diminué de façon marquée, mais la densité locale de l'espèce sur les sites d'observation a également fortement diminué. Même si le rorqual commun a été l'espèce la plus ciblée pour certaines années après 2001, la densité locale pour ces années est demeurée en dessous de la moyenne de la période. Le suivi effectué à bord des bateaux d'excursion avant la période couverte par la présente étude avait également identifié le rorqual commun comme principale cible des excursions de 1985 à 1992 (GREMM, données non publiées). Malgré les différences entre les protocoles d'échantillonnage, des densités locales moyennes de rorquals communs comparables à celles des années 1995-1999 ont été observées pour la période 1985-1992 (GREMM, données non publiées). Le changement détecté dans la proportion du temps passé en observation du rorqual commun par les grands bateaux d'excursion au départ de Tadoussac de 1994 à 2017 semble donc refléter un véritable changement dans l'abondance ou la répartition de l'espèce à la tête du chenal Laurentien pendant la période estivale, ou les deux. Ce changement avait déjà été noté (Michaud et collab., 2003), et la présente analyse vient démontrer que la tendance s'est poursuivie. Plus en aval, dans le détroit de Jacques-Cartier, l'analyse des données de photo-identification de la Station de recherche des Îles de Mingan a également fait ressortir une réduction dans l'abondance et le taux de survie des rorquals communs de 2004 à 2010 (Ramp et collab., 2014). Les auteurs expliquent la réduction dans l'abondance soit par une baisse de la fréquentation du secteur, soit par une hausse de la mortalité, soit par une combinaison de ces facteurs.

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour tenter d'expliquer les changements observés à la tête du chenal Laurentien. Une première hypothèse est que le changement dans la fréquentation de ce secteur par les rorquals communs serait lié à une modification de l'écosystème. Des analyses indiquent que des changements importants dans l'écosystème du Saint-Laurent sont, entre autres, survenus à la fin des années 1990, plus particulièrement dans la température de l'eau, la durée et l'amplitude du couvert de glace hivernal et la disponibilité de proies potentielles (poissons démersaux et pélagiques) (Galbraith et collab., 2015; Plourde et collab., 2014). C'est notamment pour mieux comprendre l'effet de la variabilité des proies sur la fréquentation et l'abondance des mammifères marins qu'un suivi systématique de la répartition et de l'abondance des proies par hydroacoustique a été initié en 2009, par Parcs Canada, sur la portion de l'estuaire maritime du parc marin. Les résultats préliminaires de ce suivi des

proies indiquent d'ailleurs une grande variabilité intra- et intersaisonnière de l'abondance et de la distribution des proies (Parcs Canada, données non publiées). Entre autres, l'arrivée massive du sébaste (*Sebastes* sp.), observée depuis 2013 grâce à ces suivis hydroacoustiques représente un changement important de l'assemblage des espèces dans la colonne d'eau. Le rétablissement de la population du sébaste, aussi démontré pour le golfe du Saint-Laurent (Bourdages et collab., 2016), pourrait influencer l'abondance de krill. L'abondance de krill ainsi que la disponibilité des poissons pélagiques dans l'écosystème ont forcément des répercussions sur la fréquentation et la rétention des grands rorquals dans le secteur.

Des modifications dans les patrons de distribution spatio-temporelle des espèces de cétacés face aux changements dans les écosystèmes sont en cours, et des mesures adaptées de gestion des activités anthropiques pouvant avoir un impact sur les cétacés devront être envisagées pour répondre à ces changements. De tels changements pourraient d'ailleurs être à l'origine de l'augmentation marquée de la mortalité des baleines noires de l'Atlantique Nord (*Eubalaena glacialis*) en 2017 dans le golfe du Saint-Laurent (Daoust et collab., 2017), qui a forcé l'adoption de mesures de gestion extraordinaire du trafic maritime (Transport Canada, 2017). De plus, ces modifications pourraient les exposer davantage à des activités anthropiques. L'arrivée hâtive des grands rorquals dans le golfe du Saint-Laurent, qui a été associée à la diminution hâtive de la couverture de glace, pourrait, par exemple, accroître leur exposition à la pêche aux crabes des neiges (*Chionoecetes opilio*) (Ramp et collab., 2015). Au début de juin 2013, on a signalé qu'un rorqual commun, connu dans le secteur du parc marin sous le nom de Capitaine Crochet, était empêtré dans un engin de pêche aux crabes. Il n'a jamais été revu depuis. Ces exemples soulignent également le besoin d'établir de bons indicateurs sur l'état de l'écosystème ainsi que des suivis permettant d'identifier ces changements dans un délai raisonnable, afin de pouvoir agir en conséquence (p. ex., Gregr et collab., 2013; Taylor et collab., 2007).

Une deuxième hypothèse avancée pour expliquer le changement ici observé serait liée aux conséquences des activités de navigation. Une étude sur le portrait du trafic maritime dans le parc a estimé à plus de 50 000 le nombre de transits du 1^{er} mai au 31 octobre 2007, dont environ 25 % correspondent à l'activité d'observation en mer des cétacés (Chion et collab., 2009). Les activités de navigation sont largement reconnues comme une menace pour les cétacés, et leurs conséquences peuvent être majeures pour les espèces en péril ou pour des individus d'une espèce qui fréquentent des secteurs de manière récurrente. Elles sont d'ailleurs identifiées comme une menace au rétablissement de la population du rorqual commun de l'Atlantique Nord, une espèce au statut préoccupant selon l'annexe 1 de la Loi sur les espèces en péril au Canada (MPO, 2017). Les effets sont à la fois directs (collisions; Laist et collab., 2001) ou indirects (bruit sous-marin; Weilgart, 2007). Ils peuvent avoir des effets à court ou

à long terme (Bejder et collab., 2006; Lusseau et Bejder, 2007) et peuvent être cumulatifs (Senigaglia et collab., 2016).

Dans le Saint-Laurent, de nombreux individus de différentes espèces présentent des marques de collision avec des navires (MICS et GREMM, données non publiées). La proportion exacte d'animaux touchés est toutefois inconnue, tout comme le taux de collision mortelle. L'impact direct du trafic maritime est difficile à quantifier, car la plupart des collisions ne sont pas signalées (Waerebeek et collab., 2007). Depuis quelques années, la sensibilisation des usagers du parc marin s'est accrue et Parcs Canada collige, depuis 1992, tous les rapports d'incidents de collisions et de blessures fraîches avec les mammifères marins (données partiellement publiées dans Laist et collab., 2001; Ménard et collab., 2007). À ce jour, un total de 73 cas ont été signalés, dont 22 impliquent le rorqual commun, l'espèce la plus touchée localement surtout avant les années 2000 (Parcs Canada, données non publiées). De 2004 à 2017, 29 carcasses de rorquals communs (15 en mer et 14 échouées sur le rivage) ont été signalées au Réseau Québécois d'Urgence pour les Mammifères Marins dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Sur ces 29 carcasses, 3 montraient des traces de collisions et 6 présentaient des traces de prise accidentelle (Réseau Québécois d'Urgence pour les Mammifères Marins, données non publiées). Ces chiffres sous-estiment probablement la réalité, puisque l'on considère généralement qu'une faible proportion des carcasses est détectée, examinée par des experts, ou les deux, et que la cause du décès est rarement déterminée en raison d'un manque de financement pour ce genre d'étude. Dans l'objectif de réduire les risques de collision mortelle dans le parc marin, des mesures de protection volontaires (réduction de vitesse, aire à éviter) développées en collaboration avec l'industrie maritime sont en place depuis 2013 (Parrott et collab., 2016). La poursuite des efforts pour déterminer les zones plus à risque pour les cétacés dans l'estuaire et accroître la sensibilisation des usagers est indispensable.

Au cours des derniers 24 ans, le volume du trafic maritime lié aux AOM a augmenté de façon importante. En 1993, on estimait le total de sorties en mer à l'intérieur du parc marin à 5 000 (Michaud et Gilbert, 1993), alors qu'en 1998, l'estimation était de 9 000 (C. Paquet, Service de Trafic et de Communication Maritime, comm. pers. dans Dionne, 2001) et qu'elle était d'environ 13 000 sorties en 2007 (Chion et collab., 2009), ce qui représente une augmentation d'environ 160 % de 1993 à 2007. Cette augmentation du trafic maritime a une répercussion directe sur le niveau du bruit sous-marin sur le territoire couvert par les AOM. Les connaissances sur les conséquences du bruit sous-marin ont beaucoup évolué dans les dernières années (Williams et collab., 2015a). Maintenant qu'il est reconnu comme une menace à la conservation des cétacés, des mesures de gestion pour réduire les conséquences du bruit sous-marin à différentes échelles sont envisagées (p. ex., MPO, en prép.; Williams et collab., 2015b). Au parc marin, cet enjeu a été ciblé comme prioritaire dans l'habitat de l'embouchure du Saguenay (Foisy et Désaulniers, 2011; PMSL,

2010), car il représente le lieu où le trafic maritime est le plus intense (Chion et collab., 2009) et est l'habitat le plus bruyant pour le béluga dans son aire de répartition (Gervaise et collab., 2012; McQuinn et collab., 2011; voir Ménard et collab., 2018).

Dans la transition de la chasse vers les activités d'observation en mer, la notion de dérangement était peu présente, mais le fait que l'observation des cétacés peut avoir des effets directs sur le comportement d'espèces ciblées est documenté depuis plus de 30 ans (voir Senigaglia et collab., 2016 pour une revue). Les conséquences à court terme incluent, entre autres, des modifications du patron respiratoire, du patron de déplacement et du comportement vocal (p. ex., Baker et Herman, 1989; Lesage et collab., 1999; 2017; Morete et collab., 2007); les effets à long terme peuvent inclure des diminutions du taux de survie (Lusseau et Bejder, 2007) et l'altération du patron de répartition (Schick et Urban, 2000). Chez le rorqual commun, notre connaissance sur les effets du dérangement par les activités en mer est encore limitée. À l'échelle mondiale, en raison de sa distribution en eaux plus profondes et plus loin des côtes, cette espèce est rarement la cible des AOM. Une étude menée dans le golfe du Maine dans les années 1980 a démontré que le rorqual commun, connu pour son déplacement rapide, aurait tendance à éviter l'interaction avec des bateaux d'excursion (Watkins, 1986). À l'échelle locale, les résultats du suivi télémétrique de 25 individus réalisés dans l'estuaire du Saint-Laurent de 1994 à 1996, suggèrent des modifications du comportement de plongée lors des interactions avec des bateaux (Michaud et Giard, 1997; 1998). Le dérangement causé par les AOM ne peut probablement pas à lui seul expliquer le déclin de la fréquentation du rorqual commun dans la tête du chenal Laurentien, mais on ne peut écarter l'hypothèse qu'il contribue au phénomène.

Analyse de groupement – les années types

L'analyse de groupement a permis d'identifier des groupes d'années ou années types au fil des 24 années du suivi des AOM. Ces groupes se caractérisent non seulement par la disponibilité des espèces cibles, mais aussi par l'utilisation du territoire. Trois secteurs d'observation de cétacés ressortent clairement de ces analyses : 1) le canyon de l'île Rouge, 2) la fosse à François en face du cap de Granite et 3) le secteur des bouées S7 et S8, dans l'embouchure du Saguenay. Chaque secteur est associé avec l'une des trois espèces les plus ciblées. Les activités d'observation des années des groupes 2 et 3, par exemple, lors desquelles le petit rorqual était l'espèce la plus ciblée, étaient concentrées dans l'embouchure du Saguenay près des bouées S7 et S8. Le petit rorqual est l'espèce de rorqual la plus abondante dans la portion de l'estuaire maritime du parc marin (Edds et Macfarlane, 1987; Martins, 2012). Comme il est très présent et souvent dans les mêmes secteurs que les autres espèces de *Balaenopteridae*, les capitaines d'excursions n'ont pas besoin de le cibler spécifiquement pour l'observer. Ainsi, le fait qu'il soit ciblé de façon récurrente, comme dans les années des groupes 2 et 3, est un bon indicateur de l'absence de grands rorquals dans le secteur. Lorsque ce type

d'année survient, il y a donc des répercussions à la fois pour l'industrie des AOM et dans cet habitat clé pour le béluga du Saint-Laurent, notamment à cause du niveau de bruit, car le temps de présence des bateaux est augmenté. La pression anthropique des bateaux d'excursion dans l'embouchure du fjord du Saguenay et le secteur des bouées, telle qu'identifiée dans les années du groupe 2 et 3, s'ajoute à la pression du trafic maritime déjà intense dans ce secteur.

Les fluctuations dans la fréquentation des espèces de cétacés dans le parc marin représentent un enjeu pour lequel les mesures de gestion ne sont pas évidentes et qui devrait être exploré davantage afin de limiter les effets des AOM, surtout sur les espèces en péril. Une étude récente menée dans le parc marin sur l'effet des excursions sur le rorqual bleu a démontré que son succès alimentaire est réduit en présence des bateaux d'excursion à moins de 400 m (Lesage et collab., 2017). Cela confirme l'importance du règlement (DORS/2002-76) pour la protection des espèces en péril et la pertinence de l'étendre au-delà des limites du parc marin.

La diversification des activités d'observation en mer, par la valorisation de l'observation du paysage et d'autres espèces de mammifères marins au cours des excursions, a été proposée comme un moyen de réduire la pression anthropique sur les cétacés, mais aussi d'améliorer l'offre de produits d'excursions de qualité et durables (Foisy et Désaulniers, 2011; Ménard et collab., 2011). La diversification des activités ne s'est toutefois pas encore reflétée dans les données plus récentes du suivi des AOM (Martins, 2016), bien qu'on y note une légère augmentation du temps passé en observation des pinnipèdes. Toutefois, même si cette augmentation peut refléter un effort de diversification de l'activité, elle est en partie expliquée par un déplacement des échoueries des phoques communs dans le fjord du Saguenay (Parcs Canada, données non publiées) et par l'arrivée, et la rétention, de gros groupes de phoques gris (*Halichoerus grypus*) à la tête du chenal Laurentien. La diversification des AOM est essentielle pour assurer leur pérennité (Foisy et Désaulniers, 2011; Ménard et collab., 2011); la continuité des efforts pour favoriser la diversification devrait donc être valorisée.

Même si l'industrie d'observation en mer dans l'estuaire du Saint-Laurent s'est développée en ciblant le rorqual commun, les capitaines des bateaux d'excursion font un effort pour montrer le plus d'espèces possible lors d'une même excursion, valorisant ainsi la diversité d'espèces qui caractérise le parc marin (Chion, 2011). Lorsque présents, le rorqual à bosse et le rorqual bleu représentent un grand intérêt pour les activités d'observation en mer. Le rorqual à bosse est très prisé pour ses comportements parfois spectaculaires et parce qu'il montre souvent la queue en plongeant, comportement fortement recherché. Le rorqual bleu, quant à lui, est ciblé à cause de sa rareté et de sa très grande taille. Historiquement, le nombre de rorquals à bosse est très faible dans la zone d'étude (Edds et Macfarlane, 1987). Depuis 1999, sa présence à l'intérieur du parc est moins rare (Michaud et collab., 2003), mais le nombre d'individus fréquentant la zone

demeure faible. Le rorqual bleu est également rare dans le secteur; il fréquente surtout la portion plus en aval de l'estuaire maritime du parc marin (p. ex., Doniol-Valcroze et collab., 2012; Martins, 2012). Le règlement pour les AOM dans le parc limite les distances d'approche (selon l'espèce également) ainsi que le nombre de bateaux dans un site d'observation, mais il ne limite pas l'aspect cumulatif des AOM. Des aspects comme l'abondance, la rareté ou l'attraction de certaines espèces devraient être pris en compte. La gestion durable de cette activité, qui repose sur la présence des baleines, mais également sur une image positive projetée par cette industrie auprès du public (Tittley, 1996), est essentielle à sa pérennité (p. ex., Higham et collab., 2014). Cette nécessité est logique d'un point de vue de préservation de la diversité des espèces dans une aire marine protégée, mais aussi du point de vue économique pour toute la région en périphérie du parc marin.

Conclusion

La présente analyse a mis en lumière les changements dans les espèces ciblées par les AOM, notamment le rorqual commun qui s'est maintenu comme principale espèce cible de 1994 à 2000 et vraisemblablement aussi, de 1985 à 1992. Malgré les limites de la méthodologie et de l'étendue du territoire d'étude, les variations des espèces ciblées présentées ici ont permis de montrer un changement depuis 2001. L'analyse de groupement a permis de mettre en lumière des patrons spatio-temporels des AOM et de définir des années types. D'autres études et analyses basées également sur des suivis systématiques devront être effectuées afin de dresser un portrait plus précis des patrons historiques de l'abondance et de la fréquentation du parc marin par les mammifères marins et, ainsi, de mieux comprendre les patrons identifiés ici. La continuité à long terme du suivi des AOM, concomitant à des suivis systématiques, permettra de mieux comprendre cet écosystème et d'assurer la gestion adaptative et durable de cette activité. La création du parc marin du Saguenay–Saint-Laurent a joué un rôle essentiel pour la conservation de cet écosystème unique, notamment par le développement d'outils de gestion adaptés aux besoins locaux, grâce à la collaboration avec les usagers et à l'utilisation des meilleures connaissances disponibles. L'utilisation des divers outils de gestion, notamment pour rehausser la protection des habitats des mammifères marins, est primordiale pour que le parc puisse réaliser son mandat de conservation et d'éducation, tout en contribuant à la pérennité de cette activité économique importante pour la région.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les différentes compagnies d'excursion pour leur participation au suivi des AOM, tous les techniciennes et techniciens ayant participé au projet au fil des années, ainsi que les employés de Parcs Canada au parc marin du Saguenay–Saint-Laurent et du Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins (GREMM) pour leur participation, de différentes manières, à la mise en place de ce suivi. Les auteurs tiennent à remercier

tout particulièrement Suzan Dionne, de Parcs Canada, qui a joué un rôle clé pour instaurer ce suivi en collaboration avec le GREMM, ainsi que les membres de cette équipe dont Michel Moisan, Véronik de la Chenelière, Marie-Hélène d'Arcy et Sarah Duquette pour leur contribution essentielle au suivi des activités d'observation en mer dans le parc marin. ◀

Références

- BAKER, C.S. et L.M. HERMAN, 1989. Behavioral responses of summering humpback whales to vessel traffic experimental and opportunistic observations. National Park Service, Alaska Regional Office, Report/Paper Number: NPS/NR/TRS-89/01, 50 p.
- BEJDER, L., A. SAMUELS, H. WHITEHEAD et N. GALES, 2006. Interpreting short-term behavioural responses to disturbance within a longitudinal perspective. *Animal Behaviour*, 72 (5): 1149-1158.
- BERTULLI, C.G., M.J. TETLEY, E.E. MAGNÚSDÓTTIR et M.H. RASMUSSEN, 2015. Observations of movement and site fidelity of white-beaked dolphins (*Lagenorhynchus albirostris*) in Icelandic coastal waters using photo-identification. *Journal of Cetacean and Research Management*, 15: 27-34.
- BOURDAGES, H., C. BRASSARD, M. DESGAGNÉS, P. GALBRAITH, J. GAUTHIER, B. LÉGARÉ, C. NOZÈRES, E. PARENT et P. SCHWAB, 2016. Preliminary results from the groundfish and shrimp multidisciplinary survey in August 2015 in the Estuary and northern Gulf of St. Lawrence. DFO Canadian Science Advisory Secretariat Research Document 2016/004, 87 p.
- CALENGE, C., 2006. The package adehabitat for the R software: a tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecological Modelling*, 19: 516-519.
- CALINSKI, T. et J. HARABASZ, 1974. A dendrite method for cluster analysis. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 3 (1): 1-27.
- CHION, C., 2011. An agent-based model for the sustainable management of navigation activities in the Saint Lawrence Estuary. Thèse de doctorat, École de Technologie Supérieure, Montréal, 354 p.
- CHION, C., S. TURGEON, R. MICHAUD, J.-A. LANDRY et L. PARROTT, 2009. Portrait de la navigation dans le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent. Caractérisation des activités sans prélèvement de ressources entre le 1^{er} mai et le 31 octobre 2007. Rapport présenté à Parcs Canada, 86 p.
- CORKERON, P.J., 2006. How shall we watch whales. Dans: LAVIGNE, D. M. (édit). *Gaining ground: in pursuit of ecological sustainability*. International Fund for Animal Welfare, p. 161-170.
- DAOUST, P.-Y., E.L. COUTURE, T. WIMMER et L. BOURQUE, 2017. Incident report: North Atlantic right whale mortality event in the Gulf of St. Lawrence, 2017. Collaborative report produced by: Canadian Wildlife Health Cooperative, Marine Animal Response Society and Fisheries and Oceans Canada, 224 p.
- DIONNE, S. (sous la direction de), 2001. Plan de conservation des écosystèmes du parc marin Saguenay-Saint-Laurent. Parcs Canada, parc marin Saguenay-Saint-Laurent, Québec, 538 p. Disponible en ligne à: <http://pcacdn.azureedge.net/-/media/amnc-nmca/qc/saguenay/WET4/Publications-scientific/Plan-de-conservation-des-ecosystemes-du-parc-marin-du-Sag-St-L-2001.pdf>.
- DORS/2002-76. Règlement sur les activités en mer dans le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent Canada Gazette, part II. 20/03/2017. <http://laws-lois.justice.gc.ca/eng/regulations/SOR-2002-76/>.
- DONIOL-VALCROZE, T., D. BERTEAUX, P. LAROUCHE et R. SEARS, 2007. Influence of thermal fronts on habitat selection by four rorqual whale species in the Gulf of St. Lawrence. *Marine Ecology Progress Series*, 335: 207-216.
- DONIOL-VALCROZE, T., V. LESAGE, J. GIARD et R. MICHAUD, 2012. Challenges in marine mammal habitat modelling: evidence of multiple foraging habitats from the identification of feeding events in blue whales. *Endangered Species Research*, 17 (3): 255-268.
- EDDS, P. et J. MACFARLANE, 1987. Occurrence and general behavior of balaenopterid cetaceans summering in the St. Lawrence Estuary, Canada. *Canadian Journal of Zoology*, 65 (6): 1363-1376.
- [ESRI] ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2015. Spatial Analyst, 3D Analyst. ArcGIS version 10.3.
- FOISY L. et J. DÉSAULNIERS, 2011. Plan de gestion des activités en mer dans le parc marin du Saguenay-Saint-Laurent. Patrimoine canadien, ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, 54 p. http://parcmarin.qc.ca/wp-content/uploads/2016/03/Parc_marin_2011_Plan_de_gestion_des_activites_en_mer.pdf.
- GALBRAITH, P.S., J. CHASSÉ, P. NICOT, C. CAVERHILL, D. GILBERT, B. PETTIGREW, D. LEFAIVRE, D. BRICKMAN, L. DEVINE et C. LAFLEUR, 2015. Physical oceanographic conditions in the Gulf of St. Lawrence in 2014. DFO Canadian Science Advisory Secretariat Research Document, 2015/032, v + 82 p.
- GERVAISE, C., Y. SIMARD, N. ROY, B. KINDA et N. MÉNARD, 2012. Shipping noise in whale habitat: Characteristics, sources, budget, and impact on belugas in Saguenay-St. Lawrence Marine Park hub. *Journal of the Acoustical Society of America*, 132: 76-89. doi:10.1121/1.4728190.
- GREGG, E.J., M.F. BAUMGARTNER, K.L. LAIDRE et D.M. PALACIOS, 2013. Marine mammal habitat models come of age: the emergence of ecological and management relevance. *Endangered Species Research*, 22: 205-212. doi:10.3354/esr00476.
- HARTIGAN, J.A. et M.A. WONG, 1979. A K-means clustering algorithm. *Applied Statistics*, 28: 100-108.
- HIGHAM, J., L. BEJDER et R. WILLIAMS, 2014. *Whale-watching: Sustainable tourism and ecological management*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 387 p.
- HOYT, E. et E.C.M. PARSONS, 2014. The whale-watching industry: Historical development. Dans: HIGHAM, J., L. BEJDER et R. WILLIAMS (édit). *Whale-watching: Sustainable tourism and ecological management*, Cambridge University Press, p. 57-70.
- [IFAW] INTERNATIONAL FUND FOR ANIMAL WELFARE, 1995. Report of the workshop on the scientific aspects of managing whale watching, Montecastello Di Vibio, Italy, 30 March - 4 April 1995, International Fund for Animal Welfare, Crowborough, East Sussex, England, 45 p.
- LAIST, D.W., A.R. KNOWLTON, J.G. MEAD, A.S. COLLET et M. PODESTA, 2001. Collisions between ships and whales. *Marine Mammal Science*, 17 (1): 35-75.
- LEMIEUX Lefebvre, S., R. MICHAUD, V. LESAGE et D. BERTEAUX, 2012. Identifying high residency areas of the threatened St. Lawrence beluga whale from fine-scale movements of individuals and coarse-scale movements of herds. *Marine Ecology Progress Series*, 450: 243-257.
- LESAGE, V., C. BARRETTE, M. KINGSLEY et B. SJARE, 1999. The effect of vessel noise on the vocal behavior of belugas in the St. Lawrence River estuary, Canada. *Marine Mammal Science*, 15 (1): 65-84.
- LESAGE, V., A. OMRANE, T. DONIOL-VALCROZE et A. MOSNIER, 2017. Increased proximity of vessels reduces feeding opportunities of blue whales in the St. Lawrence Estuary, Canada. *Endangered Species Research*, 32: 351-361.
- LUSSEAU, D. et L. BEJDER, 2007. The long-term consequences of short-term responses to disturbance experiences from whalewatching impact assessment. *International Journal of Comparative Psychology*, 20 (2): 228-236.
- LYNAS, E.M., 1990. St. Lawrence whale research and regional economic development. Pour l'avenir du Béluga: Compte rendu du Forum International pour l'avenir du béluga. Presses de l'Université du Québec, Québec, p. 147-160.
- MAEHLER, M., P. ROUSSEUW, A. STRUYF, M. HUBERT et K. HORNIK, 2016. Cluster: Cluster analysis basics and extensions. R package version 2.0.5.
- MARTINS, C.C.A., 2012. Study of baleen whales' ecology and interaction with maritime traffic activities to support management of a complex socio-ecological system. Thèse de doctorat, Université de Montréal, Montréal, 236 p.

- MARTINS, C.C.A., 2016. Les activités d'observation en mer dans le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent et en périphérie: Portrait 2011-2015; Évolution de l'activité 1994-2015; Espèces en péril. Rapport final, Tryphon Océans, Tadoussac, Québec, présenté à Parcs Canada et au Groupe de Recherche et Éducation sur les Mammifères Marins (GREMM), 67 p + iii annexes.
- MCQUINN, I.H., V. LESAGE, D. CARRIER, G. LARRIVÉE, Y. SAMSON, S. CHARTRAND, R. MICHAUD et J. THERIAULT, 2011. A threatened beluga (*Delphinapterus leucas*) population in the traffic lane: Vessel-generated noise characteristics of the Saguenay–St. Lawrence Marine Park, Canada. *Journal of the Acoustical Society of America*, 130: 3661-3673.
- MÉNARD, N., M. PAGÉ, V. BUSQUE, I. CROTEAU, R. PICARD et D. GOBEL, 2007. Rapport sur l'état du parc marin du Saguenay–Saint-Laurent 2007. Parc marin du Saguenay–Saint-Laurent, Tadoussac, Québec, ISBN: 978-0-662-07782-4, 65 p. + annexes. http://parcmarin.qc.ca/wp-content/uploads/2016/04/Summary_State_of_the_marine_park_report_2007_web-1.pdf.
- MÉNARD, N., V. DE LA CHENELIÈRE, N. BERGERON et J.-L. PROVANCHER. 2011. L'observation des baleines dans le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent. Guide des pratiques écoresponsables pour les capitaines/naturalistes en mer. Édition 2011, Alliance Éco-Baleine, Québec, 27 p. http://www.eco-baleine.ca/pdf/Guide_ecoresponsable2011.pdf.
- MÉNARD, N., M. CONVERSANO et S. TURGEON, 2018. La protection des habitats de la population de bélugas (*Delphinapterus leucas*) du Saint-Laurent: bilan et considérations sur les besoins de conservation actuels. *Le Naturaliste canadien* 142 (2): 80-105.
- MICHAUD, R. et M.C. GILBERT, 1993. Les activités d'observation en mer des baleines dans l'estuaire du Saint-Laurent; situation actuelle et problématique. Rapport présenté à Parcs Canada, GREMM, Tadoussac, Québec, 24 p. http://gremm.org/docs/Michaud_et_Gilbert_1993.pdf.
- MICHAUD, R., C. BÉDARD, M. MINGELBIER et M.-C. GILBERT, 1997. Les activités d'observation en mer des cétacés dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent 1985-1996: Une étude de la répartition spatiale des activités et des facteurs favorisant la concentration des bateaux sur les sites d'observation. Rapport final, GREMM, Tadoussac, Québec, 18 p. http://gremm.org/docs/Michaud_et_Giard_1997.pdf.
- MICHAUD, R., V. DE LA CHENELIÈRE et M. MOISAN, 2003. Les activités d'observation en mer des cétacés dans le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent 1994-2002: Une étude de la répartition spatiale des activités et des facteurs favorisant la concentration des bateaux sur les sites d'observation. GREMM, Tadoussac, conjointement avec le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent, Québec, 16 p. http://gremm.org/docs/Michaud_et_al_2003.pdf.
- MICHAUD, R. et J. GIARD, 1997. Les rorquals communs et les activités d'observation en mer dans l'estuaire du Saint-Laurent entre 1994 et 1996: 1. Étude de l'utilisation du territoire et évaluation de l'exposition aux activités d'observation à l'aide de la télémétrie VHF. Projet réalisé dans le cadre d'une entente d'entreprise conjointe Groupe de recherche et d'éducation sur le milieu marin (GREMM), ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, ministère des Pêches et Océans, ministère du Patrimoine canadien, Parcs Canada, 30 p. http://gremm.org/docs/Michaud_et_Giard_1997.pdf.
- MICHAUD, R. et J. GIARD, 1998. Les rorquals communs et les activités d'observation en mer dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent entre 1994 et 1996: 2. Évaluation de l'impact des activités d'observation en mer sur le comportement des rorquals communs. Projet réalisé dans le cadre d'une entente d'entreprise conjointe (Groupe de recherche et d'éducation sur le milieu marin (GREMM), ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, ministère des Pêches et Océans, ministère du Patrimoine canadien, Parcs Canada, 22 p. http://gremm.org/docs/Michaud_et_Giard_1998.pdf.
- MICHAUD, R., M. MOISAN, V. DE LA CHENELIÈRE, S. DUQUETTE et M.-H. D'ARCY, 2010. Les activités d'observation en mer des mammifères marins (AO3M) dans l'estuaire du Saint-Laurent: zone de protection marine Estuaire du Saint-Laurent et parc marin du Saguenay–Saint-Laurent – Portrait 2005-2010. Rapport final, Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins, Tadoussac, 34 p. http://gremm.org/docs/Michaud_et_al_2010.pdf.
- MORETE, M.E., T.L. BISI et S. ROSSO, 2007. Mother and calf humpback whale responses to vessels around the Abrolhos Archipelago, Bahia, Brazil. *Journal of Cetacean Research and Management*, 9 (3): 241-248.
- [MPO] MINISTÈRE DES PÊCHES ET OCÉANS, 2012. Programme de rétablissement du béluga (*Delphinapterus leucas*), population de l'estuaire du Saint-Laurent au Canada, Série de Programmes de rétablissement de la Loi sur les espèces en péril. Pêches et Océans Canada, Ottawa, 93 p.
- [MPO] MINISTÈRE DES PÊCHES ET OCÉANS, 2017. Plan de gestion du rorqual commun (*Balaenoptera physalus*), population de l'Atlantique au Canada. Série de Plans de gestion de la Loi sur les espèces en péril, Pêches et Océans Canada, Ottawa, 41 p.
- [MPO] MINISTÈRE DES PÊCHES ET OCÉANS, en prép. Plan d'action pour réduire l'impact du bruit sur le béluga et les autres mammifères marins en péril de l'estuaire du Saint-Laurent. Série de Plans d'action de la Loi sur les espèces en péril, Pêches et Océans Canada, Ottawa.
- O'CONNOR, S., R. CAMPBELL, H. CORTEZ et T. KNOWLES, 2009. Whale Watching Worldwide: tourism numbers, expenditures and expanding economic benefits, a special report from the International Fund for Animal Welfare, Yarmouth MA, USA, prepared by Economists at Large, 295 p.
- OKSANEN, J., F.G. BLANCHET, M. FRIENDLY, R. KINDT, P. LEGENDRE, D. MCGILNIN, P.R. MINCHIN, R.B. O'HARA, G.L. SIMPSON, P. SOLYMOS, M.H.H. STEVENS, E. SZOECIS et H. WAGNER, 2017. Vegan: Community Ecology Package, R package 2.4-2. <https://CRAN.R-project.org/package=vegan>.
- PARROTT, L., CHION, C., TURGEON, S., MÉNARD, N., CANTIN, G. et R. MICHAUD, 2016. Slow down and save the whales. *Solutions*, 6: 40-47.
- [PMSL] PARC MARIN DU SAGUENAY–SAINT-LAURENT, 2010. Plan directeur du parc marin du Saguenay–Saint-Laurent. Parc marin du Saguenay–Saint-Laurent, Québec, Québec, ISBN: 978-2-550-54335-0, 84 p. http://parcmarin.qc.ca/wp-content/uploads/2016/04/Saguenay-St_Lawrence_Marine_Park_Management_Plan_2010-1.pdf.
- PLOURDE, S., P. GALBRAITH, V. LESAGE, F. GRÉGOIRE, H. BOURDAGE, J.-F. GOSELIN, I. MCQUINN et M. SCARRATT, 2014. Ecosystem perspective on changes and anomalies in the Gulf of St. Lawrence: a context in support to the management of the St. Lawrence beluga whale population. DFO Canadian Science Advisory Secretariat Research Document 2013/129, v + 29 p.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>.
- RAMP, C., J. DELARUE, M. BÉRUBÉ, P.S. HAMMOND et R. SEARS, 2014. Fin whale survival and abundance in the Gulf of St. Lawrence, Canada. *Endangered Species Research*, 23 (2): 125-132.
- RAMP, C., J. DELARUE, P.J. PALSBOELL, R. SEARS et P.S. HAMMOND, 2015. Adapting to a warmer ocean—seasonal shift of baleen whale movements over three decades. *PLoS one*, 10 (3): p.e0121374. doi:10.1371/journal.pone.0121374.
- SCHICK, R. et D. URBAN, 2000. Spatial components of bowhead whale (*Balaena mysticetus*) distribution in the Alaskan Beaufort Sea. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57 (11): 2193-2200.
- SEELY, E., R.W. OSBORNE, K. KOSKI et S. LARSON, 2017. Soundwatch: Eighteen years of monitoring whale watch vessel activities in the Salish Sea. *PLoS one*, 12 (12): p.e0189764. doi:10.1371/journal.pone.0189764.
- SERGEANT, D.E., 1977. Stocks of fin whales, *Balaenoptera physalus*, in the North Atlantic Ocean. Report of the International Whaling Commission, 27: 460-473.
- SENIGAGLIA, V., F. CHRISTIANSEN, L. BEJDER, D. GENDRON, D. LUNDQUIST, D.P. NOREN, A. SCHAFFAR, J.C. SMITH, R. WILLIAMS, E. MARTINEZ, K. STOCKIN et D. LUSSEAU, 2016. Meta-analyses of whale-watching impact studies: comparisons of cetacean responses to disturbance. *Marine Ecology Progress Series*, 542: 251-263. doi:10.3354/meps11497.

- SILVERMAN, B.W., 1986. Density Estimation for Statistics and Data Analysis. Monographs on Statistics and Applied Probability, Chapman et Hall, Londres, 175 p.
- SIMARD, Y., 2009. Le Parc marin du Saguenay–Saint-Laurent: Processus océanographiques à la base de ce site unique d'alimentation des baleines du Nord-Ouest Atlantique. *Revue des Sciences de l'Eau*, 22 (2): 177-197.
- SIMARD, Y., N. ROY, S. GIARD et M. YAYLA, 2014. Canadian year-round shipping atlas for 2013: Volume 1, East Coast marine waters. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, 3091 (1), xviii + 327 p.
- STAMATION, K.A., D.B. CROFT, P.D. SHAUGHNESSY, K.A. WAPLES et S.V. BRIGGS, 2010. Behavioral responses of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) to whale-watching vessels on the southeastern coast of Australia. *Marine Mammal Science*, 26: 98–122.
- TAYLOR, B.L., M. MARTINEZ, T. GERRODETTE, J. BARLOW et Y.N. HROVAT, 2007. Lessons from monitoring trends in abundance of marine mammals. *Marine Mammal Science*, 23 (1): 157-175.
- TITLEY, L., 1996. Profil de l'industrie des Croisières-Excursions au Québec en 1996. Association des croisières-excursions du Québec, 41 p. + annexes.
- TRANSPORT CANADA, 2017. Mesures prises par le gouvernement du Canada concernant les baleines noires de l'Atlantique Nord, document d'information. https://www.canada.ca/fr/transports-canada/nouvelles/2017/08/mesures_prises_par_le_gouvernement_du_canada_concernant_les_baleines_noires.html. [Visité le 2017-12-12].
- WAEREBEEK, K.V., A.N. BAKER, F. FÉLIX, J. GEDAMKE, M. IÑIGUEZ, G.P. SANINO, E. R. SECCHI, D. SUTARIA, A. VAN HELDEN et Y. WANG, 2007. Vessel collisions with small cetaceans worldwide and with large whales in the Southern Hemisphere, an initial assessment. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 6 (1): 43-69.
- WATKINS, W. A., 1986. Whale reactions to human activities in Cape Cod waters. *Marine Mammal Science*, 2 (4): 251-262.
- WEILGART, L. S., 2007. The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management. *Canadian Journal of Zoology*, 85 (11): 1091-1116.
- WILLIAMS, R., A.J. WRIGHT, E. ASHE, L.K. BLIGHT, R. BRUINTJES, R. CANESSA, C.W. CLARK, S. CULLIS-SUZUKI, D.T. DAKIN, C. ERBE, P.S. HAMMOND, N.D. MERCHANT, P.D. O'HARA, J. PURSER, A.N. RADFORD, S.D. SIMPSON, L. THOMAS et M.A. WALE, 2015a. Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. *Ocean & Coastal Management*, 115: 17-24. doi:10.1016/j.ocecoaman.2015.05.021.
- WILLIAMS, R., C. ERBE, E. ASHE et C.W. CLARK, 2015b. Quiet(er) marine protected areas. *Marine Pollution Bulletin*, 100 (1): 154-161.