

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI

**UTILISATION D'UN HABITAT PARTICULIER
PAR LE BÉLUGA (*DELPHINAPTERUS LEUCAS*)
DU SAINT-LAURENT :**

**FRÉQUENTATION INTERANNUELLE, SAISONNIÈRE, CIRCADIENNE ET
TIDALE DE L'EMBOUCHURE DU SAGUENAY**

Mémoire présenté

dans le cadre du programme de maîtrise en océanographie
en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

PAR

© MANUELA CONVERSANO

Janvier 2013

Composition du jury :

**Urs Neumeier, président du jury, Institut des sciences de la mer de Rimouski,
Université du Québec à Rimouski**

**Yvan Simard, directeur de recherche, Institut des sciences de la mer de Rimouski,
Université du Québec à Rimouski**

**Nadia Ménard, codirectrice de recherche, Parc marin du Saguenay–St-Laurent,
Parcs Canada**

**Denis Chabot, examinateur externe, Institut Maurice-Lamontagne, Ministère des
Pêches et des Océans**

Dépôt initial le 7 septembre 2012

Dépôt final le 14 janvier 2013

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI
Service de la bibliothèque

Avertissement

La diffusion de ce mémoire ou de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire « *Autorisation de reproduire et de diffuser un rapport, un mémoire ou une thèse* ». En signant ce formulaire, l'auteur concède à l'Université du Québec à Rimouski une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de son travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, l'auteur autorise l'Université du Québec à Rimouski à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de son travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits moraux ni à ses droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, l'auteur conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont il possède un exemplaire.

*« Je nage entre l'eau douce et l'eau salée
Entre rêve et réalité
Sur l'autoroute toute en vagues
À marée basse je divague
Mais à haute marée me laisser flotter
Sous le ciel bleu en liberté »*

Raoul Duguay, La marée aux milles vagues, 2010

REMERCIEMENTS

Ce projet de recherche est le fruit d'une collaboration entre le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent, la Chaire de recherche de Pêches et Océans Canada en acoustique marine appliquée à l'écosystème et aux mammifères marins et l'Institut des Sciences de la Mer de Rimouski (ISMER-UQAR). Je remercie les organismes subventionnaires qui ont contribué aux recherches : Parcs Canada, la Chaire de recherche de Pêches et Océans en acoustique marine appliquée à l'écosystème et aux mammifères marins, le CRSNG Découvertes (YS) et le regroupement FQRNT Québec-Océan. J'aimerais remercier ces organismes de m'avoir permis d'effectuer ce travail par les nombreux moyens mis à ma disposition tout au long de ma maîtrise, dont le soutien financier, les équipements de terrain et, surtout, la disponibilité de personnes précieuses sur le terrain et au bureau.

J'aimerais particulièrement remercier mon directeur de recherche, Yvan Simard, de m'avoir accueillie parmi ses étudiants et de m'avoir encadrée et soutenue tout au long de mes études, faisant preuve de dévouement et patience ! Merci également de m'avoir apporté une vision plus large et profonde de l'écosystème du Saint-Laurent et du Saguenay, ainsi qu'une meilleure compréhension de l'écologie du béluga, en partageant son expérience remarquable et sa grande passion pour la recherche.

Merci également à Nadia Ménard, ma co-directrice, collègue et amie, pour m'avoir encouragée au cours de ces années d'étude et de travail au parc marin, ainsi que pour les nombreuses discussions enrichissantes au sujet du béluga, des proies des mammifères marins, de l'écosystème du parc marin et de la fonction et importance des aires marines protégées.

Je ne peux pas me passer de remercier la formidable équipe du parc marin du Saguenay–Saint-Laurent pour avoir participé aux travaux de terrain et pour avoir rendu mon expérience au sein de cette équipe inoubliable. Merci en particulier à Jean Desaulniers

de m'avoir accueillie dans cette équipe lors de mon premier stage d'observation du béluga en 2004, à Sébastien Cloutier de m'avoir appris la méthode d'observation de façon aussi méticuleuse qu'agréable, à Valérie Busque pour avoir participé aux tests d'observation simultanée et pour le partage de ses précieuses observations du béluga à la baie Sainte-Marguerite, à Sonia Normandin pour les moments agréables partagés dans le décor enchanteur de Pointe Noire, à Gérard Therrien qui a su manœuvrer le bateau de façon magistrale lors des nombreuses calibrations des équipements et à Lisette Dufour pour l'aide dans la recherche de références à la bibliothèque du parc marin. Merci également aux autres membres de l'équipe qui ont participé aux calibrations des équipements et à la coordination des opérations sur le terrain! Un remerciement particulier va à tous les observateurs de bélugas qui ont participé avec moi à la collecte d'observations lors de cette étude : Sébastien Cloutier, Valérie Busque, Cécile Ducatel et Nicolas Parent.

Merci aussi aux naturalistes et employés du GREMM qui ont travaillé à Pointe Noire, avec qui ce fut un plaisir de partager la galerie de l'ancienne maison du gardien de phare, et particulièrement à Gisèle qui, jour après jour, année après année, ne s'est pas lassée de me souhaiter joyeusement le bonjour à Pointe Noire !

Un grand remerciement va également aux étudiants, professeurs et personnel de l'ISMER, qui ont rendu mon aventure d'océanographe « en herbe » des plus agréables. Merci aux étudiants du labo d'acoustique marine de m'avoir moralement soutenue lors des derniers milles de ma maîtrise. Merci à Urs Neumeier pour m'avoir initiée à la cartographie et à François Saucier de m'avoir transmis sa passion pour l'océanographie physique. Merci à Nycole Bérubé, Jean-François Dumais et Jean-Pierre Gagné pour leur aide et soutien précieux dans les démarches administratives.

Un remerciement particulier va à Sylvain Gautier et à Marie-Jeanne Rioux, qui m'ont aidée pour la mise en forme des références bibliographiques, ainsi qu'à Nathalie Roy pour sa contribution dans l'analyse des données de marée.

Enfin, du plus profond de mon cœur, un gros merci à toute ma famille, et en particulier à *zio* Pierre, et à tous mes amis, qui m'ont encouragée sans cesse tout au long de ce parcours d'études, des deux bords de l'Atlantique !

AVANT-PROPOS

Ce travail a contribué aux publications et communications ci-dessous :

Publications

Simard, Y., Roy, N., Giard, S., Gervaise, C., Conversano, M., and Ménard, N. 2010. Estimating whale density from their whistling activity: example with St. Lawrence beluga. *Applied Acoustics* 71: 1081-1086. DOI: 10.1016/j.apacoust.2010.05.013.

Simard, Y., Roy, N., Gervaise, C., Giard, S., Conversano M., and Ménard, N. 2010. Passive acoustics applied to white whale density monitoring and 3D tracking their foraging dives in an ecosystem hot spot. Proc. IEEE OES Passive 2010, Brest, France. 23-24 June. IEEE Conference Publishing, 445 Hoes Lane, Piscataway, NJ 08854 USA 2p.

Communications

Simard, Y., Roy, N., Gervaise, C., Giard, S., Conversano, M., and Ménard, N. 2010. Passive acoustics applied to white whale density monitoring and 3D tracking their foraging dives in an ecosystem hot spot. IEEE OES Passive 2010, Brest, France. 23-24 juin.

Conversano, M., Simard, Y., Ménard, N., Roy, N., Gagné, J., and Giard S. 2009. Comportement tidal et saisonnier du béluga à l'embouchure du Saguenay: relations avec la dynamique des proies et les processus hydrodynamiques au seuil du fjord. Forum québécois en sciences de la mer, Rimouski, 10-11 nov. (Affiche)

Conversano, M., Simard, Y., Ménard, N., Roy, N., Gagné, J., and Giard S. 2009. Habitat utilisation by St. Lawrence beluga whales at the Saguenay fjord entrance: connections with

sill dynamics and tidal aggregation of forage fish. 18th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Québec, 12-16 Oct. (Affiche)

Simard, Y., Roy, N., Giard, S., Gervaise, C., Conversano, M., and Ménard, N. 2009. Estimating beluga densities from passive acoustics: Exploration for St. Lawrence belugas frequenting the entrance basin of Saguenay fjord at Tadoussac. 1st International Workshop on Density Estimation of Marine Mammals Using Passive Acoustics. Pavia, Italy. 14 Sept.

Conversano, M., Simard, Y. et Ménard, N. 2009. Les bélugas à l'embouchure du Saguenay... une question de marée? Colloque « La biologie dans tous ses états ». Rimouski, Qc. 12-14 mars.

Conversano, M., Simard, Y. et Ménard, N. 2008. Comportement tidal et saisonnier du béluga à l'embouchure du Saguenay: relations avec la dynamique des proies et les processus hydrodynamiques au seuil du fjord. Réunion Annuelle du regroupement FQRNT Québec-Océan. Rivière du Loup, Qc. 27-28 nov. (Affiche)

Conversano, M., Simard, Y. et Ménard, N. 2008. Comportement tidal et saisonnier du béluga à l'embouchure du Saguenay: relations avec la dynamique des proies et les processus hydrodynamiques au seuil du fjord. Congrès Annuel de la Société Québécoise pour l'Étude Biologique du Comportement. Rimouski, Qc. 21 oct.-2 nov. (Affiche)

Conversano, M., Simard, Y. et Ménard, N. 2008. Comportement tidal et saisonnier du béluga à l'embouchure du Saguenay: relations avec la dynamique des proies et les processus hydrodynamiques au seuil du fjord. Colloque Parc marin du Saguenay-Saint-Laurent, 10 années de science au service de la conservation. Rivière-du-Loup, Qc. 2-3 oct. (Affiche)

Conversano, M., Simard, Y. et Ménard, N. 2007. Comportement tidal et saisonnier du béluga à l'embouchure du Saguenay: relations avec la dynamique des proies et les processus hydrodynamiques au seuil du fjord. Réunion Annuelle du regroupement FQRNT Québec-Océan. Rivière du Loup, Qc. 21-22 nov. (Affiche)

RÉSUMÉ

L'embouchure du fjord du Saguenay fait partie des aires estivales fortement fréquentées par le béluga du Saint-Laurent ainsi que des habitats considérés essentiels pour le rétablissement de cette population menacée. L'utilisation et la fonction de cet habitat sont toutefois peu connues. Un suivi estival pluriannuel intensif et systématique de la fréquentation de cet habitat par le béluga a été conduit afin de décrire les conditions moyennes d'utilisation et leur variation aux échelles interannuelle, mensuelle, hebdomadaire, circadienne et en fonction du cycle de marée semi-diurne. Des observations visuelles ont été récoltées par des balayages systématiques (aux 5 min, 6 h/jour, 5 jours/semaine) entre mai et septembre 2003 à 2009 à partir de la rive (Pointe Noire, 34 m d'élévation). La position et les caractéristiques des groupes de bélugas, des autres espèces de cétacés et des bateaux étaient recueillies à l'aide de jumelles télémétriques avec boussole.

L'embouchure du Saguenay était fréquentée quotidiennement (83 % des jours) pendant 51 % du temps diurne, par des troupes d'adultes (70 %), juvéniles (24 %) et veaux (6 %) comptant en moyenne 16,1 individus séparés en groupes de 2,6 individus. Les proportions des classes d'âge ont peu varié mensuellement et annuellement. Les occurrences et abondances de bélugas ont le plus varié aux échelles temporelles les plus fines. Les fluctuations interannuelles ne montrent pas de tendance, ni à la hausse ni à la baisse. Il n'y a pas de patrons saisonniers et circadiens généraux pour l'ensemble des années, même si on observe généralement une baisse de fréquentation en fin de journée. Le cycle de marée semi-diurne influence de façon significative l'abondance, le comportement et la distribution spatiale des animaux, vraisemblablement en relation avec leurs proies. À chaque année, on observe de plus grandes abondances de bélugas lors du flot. La fréquentation de cet habitat ne semble pas être affectée par la présence d'espèces compétitrices. Il n'y a pas de relation claire avec le trafic maritime, mais les résultats suggèrent l'existence de quelques effets du trafic élevé sur le comportement et la présence de bélugas, en particulier des veaux. Nos observations appuient l'hypothèse que l'embouchure du Saguenay est principalement une aire d'alimentation pour les bélugas, et secondairement un lieu de transit.

Mots clés : béluga, Saint-Laurent, Saguenay, utilisation de l'habitat, variabilité, interannuel, saisonnier, circadien, tidal, aire d'alimentation

ABSTRACT

The Saguenay fjord mouth is one of the St. Lawrence beluga highly frequented areas during summer and among the habitats considered essentials for the recovery of this threatened population. The use and function of this habitat are however poorly known. An intensive multi-year systematic monitoring of the frequentation of this habitat by beluga was conducted to characterize its mean use, with the variability at annual, monthly, weekly and daily scales, and as a function of the semidiurnal tidal cycle. Visual systematic observations scanning the area every 5 min, 6 h/day, 5 days/week were collected between May and September 2003 to 2009, from the shore (Pointe Noire, 34 m elevation). The position and characteristics of beluga groups, other cetacean species and boats were gathered from reticle binoculars with compass.

The Saguenay mouth was frequented daily (83 % of the days) for 51 % of the daylight time, by herds composed of adults (70 %), juveniles (24 %) and calves (6 %), comprising 16.1 individuals broken up into groups of 2.6 individuals on average. The age groups proportions varied little annually and monthly. Beluga occurrence and abundance varied more at the finest time scales. The inter-annual fluctuations did not evidence any increasing or decreasing trend. No general seasonal or circadian pattern recurring every year was found, although a lower frequentation at the end of the day was common. The semidiurnal tidal cycle significantly influenced the abundance, the behaviour and the distribution of the animals in the area, likely in relation with their prey. Every year, the highest beluga abundances were occurring during flood. The frequentation of this habitat does not seem to be affected by competing species. No clear relation with shipping traffic was evidenced, but results suggest some effects of high traffic on the behaviour and presence of beluga, especially calves. Our observations support the hypothesis that the Saguenay mouth is primarily a feeding area for belugas, and secondly a transit site.

Keywords : beluga, St. Lawrence, Saguenay, habitat use, variability, inter-annual, seasonal, circadian, tidal, feeding area

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	vii
AVANT-PROPOS	ix
RÉSUMÉ	xi
ABSTRACT	xiii
TABLE DES MATIÈRES	xv
LISTE DES TABLEAUX	xvii
LISTE DES FIGURES	xxi
LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES	xxix
CHAPITRE 1 INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1.1 Le béluga de l'estuaire du Saint-Laurent	1
1.2 Utilisation de l'habitat	5
1.3 L'embouchure du Saguenay	7
1.4 Objectifs du projet de recherche	11
CHAPITRE 2 MATÉRIEL ET MÉTHODES	13
2.1 Observations visuelles	13
2.2 Évaluation du biais de l'observateur et de la distance	23
2.3 Traitement des données	28
CHAPITRE 3 RÉSULTATS	43
3.1 Biais reliés à l'observateur et à la distance	43
3.2 Occupation spatiale de l'embouchure du Saguenay par les bélugas	55
3.3 Occurrence et abondance de bélugas	56

3.4	Caractéristiques des groupes et des troupeaux de bélugas.....	65
3.5	Influence de la marée sur le comportement des bélugas.....	78
3.6	Facteurs externes	93
CHAPITRE 4 DISCUSSION		107
4.1	Particularités et intérêts de la série pluriannuelle d'observations.....	107
4.2	Conditions d'utilisation moyennes de l'embouchure du Saguenay	111
4.3	Variabilité dans la fréquentation et l'occupation de l'habitat	117
4.4	Fonction de l'habitat	128
4.5	Considérations sur les facteurs externes.....	136
CHAPITRE 5 CONCLUSION GÉNÉRALE		145
ANNEXES.....		147
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES		181

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Périodes d'échantillonnage, nombre d'observations en condition de bonne visibilité et succession des observateurs au fil des saisons.....	17
Tableau 2 : Liste des variables mesurées à chaque BOI et des valeurs ou catégories attribuées à chaque variable.	21
Tableau 3 : Nombre et pourcentages d'individus par classe d'âge et par type d'activités observés par les deux observateurs à partir de la même position (A et B) et des deux rives opposées (Pointe Noire et Pointe Rouge).	44
Tableau 4 : Probabilités du test de Wilcoxon comparant les séries de proportions de classes d'âge observées à différentes distances à chaque BOI à la distance minimale (0-200 m), pour chaque année.	54
Tableau 5 : Occurrence et abondance annuelle moyenne des bélugas de 2003 à 2009 (juin, juillet et août uniquement), effort d'échantillonnage et similarité d'abondance.	56
Tableau 6 : Valeurs du coefficient de Spearman (ρ) pour les corrélations significatives ($\alpha = 0,05$) entre les séries d'occurrence et d'abondance horaires moyennes (entre 6h et 19h HAE) de chaque année.	63
Tableau 7 : Taille moyenne des troupeaux (nombre d'individus ≥ 1) observés en surface en juin, juillet et août 2003 à 2009 et statistiques descriptives.....	67
Tableau 8 : Taille moyenne des troupeaux (nombre d'individus ≥ 1) observés en surface en mai et septembre et statistiques descriptives.	67

Tableau 9 : Composition moyenne des troupeaux de bélugas observés à chaque BOI de 2003 à 2009 (de juin à août) selon la classe d'âge et moyenne des valeurs annuelles.	69
Tableau 10 : Pourcentage moyen et IC 95 % du nombre de bélugas par BOI selon l'orientation des individus pour chaque année d'échantillonnage et pour l'ensemble des données (2003 à 2009).	73
Tableau 11 : Pourcentage moyen et IC 95 % du nombre de bélugas par BOI selon la cohésion et le dynamisme des groupes pour chaque année d'échantillonnage et pour l'ensemble des données (2003 à 2009).	75
Tableau 12 : Valeurs du coefficient de Spearman (ρ) pour les corrélations significatives entre le nombre de bélugas et les proportions d'individus selon la classe d'âge, le type d'activité, le degré de cohésion et de dynamisme.	76
Tableau 13 : Statistiques descriptives des groupes principaux et secondaires identifiés dans le dendrogramme de la figure 35, présentées selon la subdivision du cycle de marée en flot/jusant et en groupes de phases contiguës.	83
Tableau 14 : Pourcentage moyen et IC 95 % du nombre de bélugas par BOI selon la cohésion et le dynamisme des groupes pour chaque phase de marée de l'ensemble des données (2003 à 2009).	93
Tableau 15 : Nombre moyen d'embarcations par BOI de 2003 à 2009 (entre juin et août) et statistiques descriptives pour les embarcations de tout genre et par type de propulsion.	96
Tableau 16 : Proportion moyenne d'embarcations par type d'activité par année et pour l'ensemble des données (moyenne des séries annuelles) et IC 95 %.	100
Tableau 17 : Valeurs du coefficient de Spearman pour les corrélations significatives entre le nombre de bateaux (de tous genres et motorisés) et le nombre de bélugas, la proportion	

et le nombre d'individus par classe d'âge (dans un rayon de 600 m de l'observateur), les proportions des types activité, du degré de cohésion et de dynamisme par BOI. .101

Tableau A2.1 : Nombre moyen d'individus par classe d'âge observés à chaque BOI pour chaque mois des années 2003 à 2009 et moyenne pluriannuelle.....155

Tableau A5.1 : Statistiques descriptives sur les observations des espèces de cétacés autres que le béluga de 2003 à 2009.....180

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du parc marin du Saguenay–Saint-Laurent.	5
Figure 2 : Localisation de l’aire d’étude et du site d’observation.	14
Figure 3 : Poste et matériel d’observation, avec vue centrée sur l’axe nord-est.....	15
Figure 4 : Champ de vision de l’oculaire gauche de la jumelle, avec graduation verticale du réticule télémétrique (de 0 à 8 avec graduation 0,5) et boussole illustrés (à gauche) et point de repère commun aligné au réticule télémétrique (à droite).	16
Figure 5 : Observateur posté à Pointe Rouge (premier plan) et site de Pointe Noire (visible à l’autre rive).....	26
Figure 6 : Illustration des différentes mesures prises en compte dans le calcul des coordonnées géographiques, dans le plan vertical observateur-objet.....	34
Figure 7 : Exemple de droite de calibration réalisée pour le calcul des angles verticaux α en fonction de l’échelle du réticule du télémètre pour un observateur en 2009.	36
Figure 8 : Répartition des observations de bélugas selon la distance de l’observateur, présentée en tranches de 100 m (les données aux distances supérieures à 5 500 m ont été exclues du graphique), pour l’ensemble des années.	38
Figure 9 : Projection des échelons du réticule du télémètre (de 0 à 8 avec graduation 0,25) à 360° sur un plan horizontal d’élévation égale à la moyenne des niveaux d’eau observés dans l’ensemble des données.	38

- Figure 10 : Distances correspondant aux marques de graduation du réticule du télémètre et croissance du pas entre deux graduations pour un niveau d'eau égal à la moyenne observée dans l'ensemble des données. 39
- Figure 11 : Quadrats de 400 m carrés, numérotés (1 à 90), couvrant l'ensemble des observations de bélugas pour les distances inférieures à 3000 m de l'observateur. 39
- Figure 12 : Nombre de bélugas détectés à tous les BOI par chaque observateur lors des observations simultanées à partir de la même rive (en haut) et des deux rives opposées (en bas). Cartouche : relation entre les deux variables (en racine carrée) et droite de pente 1. 45
- Figure 13 : Évolution du nombre de bélugas observés à partir des deux rives opposées en fonction de la distance de l'observateur (en haut). En bas, le nombre de bélugas a été divisé par la longueur de l'arc d'observation. Les lignes sont les moyennes mobiles sur 3 points. 46
- Figure 14 : Groupes de bélugas, centroïdes et ellipses de dispersion des groupes observés à partir des deux rives pour l'ensemble des 38 BOI comparés 48
- Figure 15 : Proportions moyennes des classes d'âge observées en fonction de la distance de l'observateur, incluant (en haut) et excluant (en bas) les individus dont la classe d'âge n'a pas été déterminée, avec intervalle de confiance à 95 % (IC 95 %), pour l'ensemble des données. 52
- Figure 16 : Écarts entre les proportions des classes d'âge (adultes, juvéniles et veaux) observées à chaque tranche de distance de 200 m et les proportions observées à la distance minimale (0-200 m), pour chaque année..... 53
- Figure 17 : Distribution spatiale de l'ensemble des observations de bélugas (nombre d'individus par quadrat) de 2003 à 2009. Les densités sont classées par déciles. Le nombre d'individus est indiqué en blanc dans les quadrats de densité maximale. 55

Figure 18 : Évolution interannuelle de l'occurrence et de l'abondance moyenne de bélugas, avec IC 95 %, de 2003 à 2009 (juin, juillet et août uniquement).	57
Figure 19 : Occurrence mensuelle moyenne de bélugas de 2003 à 2009.	59
Figure 20 : Abondance mensuelle moyenne de bélugas par BOI de 2003 à 2009, avec IC 95 %.	59
Figure 21 : Occurrence horaire moyenne de bélugas de 2003 à 2009.	61
Figure 22 : Abondance horaire moyenne de bélugas par BOI, observée et corrigée pour la phase de marée, de 2003 à 2009, avec IC 95 %.....	62
Figure 23 : Variance de l'abondance moyenne de bélugas par BOI selon les différentes échelles temporelles (heure, jour, semaine, mois, année) exprimées en \log_{10} (heure) pour l'ensemble des données (2003 à 2009).....	64
Figure 24 : Fréquence d'occurrence des tailles des groupes observés à chaque année (2003 à 2009).	66
Figure 25 : Boîtes à moustaches représentant la distribution des tailles de troupeaux observées de juin à août inclusivement à chaque année et leurs moyennes (valeurs extrêmes non illustrées).	66
Figure 26 : Proportion et abondance moyennes de bélugas par BOI selon la classe d'âge pour chaque année de 2003 à 2009 (de juin à août), avec borne supérieure de l'IC 95 %.	69
Figure 27 : Proportion et abondance moyennes de bélugas par BOI selon la classe d'âge pour chaque mois (moyenne des données mensuelles de 2003 à 2009), avec borne supérieure de l'IC 95 %.	70

- Figure 28 : Proportions moyennes des types d'activité observés chez les troupeaux de bélugas à chaque BOI pour chaque année et pour l'ensemble des données de 2004 à 2009, avec IC 95 %. 72
- Figure 29 : Proportions du nombre de bélugas par BOI selon l'orientation des individus pour chaque année d'échantillonnage et pour l'ensemble des données (2003 à 2009). 72
- Figure 30 : Proportions du nombre de bélugas par BOI selon la cohésion (en haut) et le dynamisme (en bas) des groupes pour chaque année (2003 à 2009) et l'ensemble des données..... 74
- Figure 31 : Proportion du nombre de bélugas observés par BOI au cours du jour selon l'activité des individus (en haut) et leur orientation dans l'axe du Saguenay (en bas), présenté par tranches horaires, avec IC 95 % des séries de moyennes annuelles. 77
- Figure 32: Évolution de l'abondance moyenne de bélugas par BOI au cours du cycle de marée (divisé en 12 phases) de 2003 à 2009, avec borne supérieure de l'IC 95 %. 79
- Figure 33: Dendrogramme obtenu à partir de l'analyse de similarité des patrons d'abondance de bélugas par phase de marée au cours des années. 80
- Figure 34 : Abondance de bélugas (en bas) et des autres espèces de cétacé observées (en haut) par BOI et marnage moyens pour chaque jour d'échantillonnage en 2008. 81
- Figure 35 : Dendrogramme issu de la classification de la distribution spatiale de bélugas selon le cycle de marée (divisé en 12 phases) et l'année. Les points rouges indiquent les coupures effectuées afin de déterminer les groupes principaux (1 et 2) et secondaires (1A, 1B, 1C, 2A et 2B). 82
- Figure 36 : Schéma résumant la composition des groupes principaux et secondaires identifiés dans le dendrogramme de la figure 35, selon la phase de marée et l'année d'appartenance des observations (carrés grisés). 84

- Figure 37 : Distribution spatiale des densités de bélugas (moyenne des déciles par quadrat), orientation et activité dominantes dans chaque quadrat (symboles) et proportions moyennes des différents types d'activité et d'orientation (histogrammes) pour les groupes 1, 1A, 1B et 1C identifiés dans le dendrogramme de la figure 35. Voir la légende à la figure 38.....86
- Figure 38 : Distribution spatiale des densités de bélugas (moyenne des déciles par quadrat), orientation et activité dominantes dans chaque quadrat (symboles) et proportions moyennes des différents types d'activité et d'orientation (histogrammes) pour les groupes 2, 2A et 2B identifiés dans le dendrogramme de la figure 35.....87
- Figure 39: Évolution de l'abondance moyenne de bélugas par BOI au cours du cycle de marée (divisé en 12 phases) de 2004 à 2009, avec les proportions d'individus selon le type d'activité et leur IC 95 % respectif.91
- Figure 40 : Pourcentage moyen de bélugas par BOI selon le type d'orientation par phase de marée dans l'ensemble des données (2003 à 2009), avec IC 95 % (noter que l'échelle verticale des graphiques diffère).....92
- Figure 41 : Proportions moyennes des différents types d'embarcations observées au cours des saisons 2003 à 2009 (moyenne des valeurs annuelles), avec borne supérieure de l'IC 95 %.....94
- Figure 42 : Nombre moyen d'embarcations par BOI pour chaque saison de juin à août 2003 à 2009, avec borne supérieure de l'IC 95 % et proportion d'embarcations selon le type de propulsion.....96
- Figure 43 : Nombre moyen d'embarcations par BOI pour chaque mois de mai à septembre 2003 à 2009 (moyenne des valeurs annuelles), avec borne supérieure de l'IC 95 % et proportion d'embarcations selon le type de propulsion.....97

- Figure 44 : Évolution du nombre moyen d'embarcations par BOI dans l'ensemble des données (juin à août 2003 à 2009), présentée par tranches horaires, avec borne supérieure de l'IC 95 % et proportion d'embarcations par type de propulsion 97
- Figure 45 : Nombre départs horaires des traversiers Tadoussac–Baie-Sainte-Catherine depuis les deux rives pour chaque tranche horaire entre 6h et 20h, du 28 avril au 26 octobre 2003 à 2009. 99
- Figure 46 : Abondance moyenne de bélugas par BOI (corrigée pour la phase de marée) selon les classes de densité d'embarcations de tous genres (à gauche) et motorisées uniquement (à droite) pour l'ensemble des données 2003 à 2009, avec borne supérieure de l'IC 95 %..... 100
- Figure 47 : Abondance moyenne par BOI de cétacés autre que bélugas observés de 2003 à 2009 (en haut) et nombre moyen d'individus présents simultanément à chaque BOI lorsque d'autres cétacés étaient présents (en bas), avec borne supérieure de l'IC 95 %, pour chaque année..... 103
- Figure 48 : Évolution de l'abondance moyenne de petits rorquals par BOI au cours du cycle de marée (divisé en 12 phases) pour l'ensemble des données (2003 à 2009), avec borne supérieure de l'IC 95 %, et des proportions d'individus selon le type d'activité. 104
- Figure 49 : Distribution spatiale de l'ensemble des observations de petits rorquals (nombre d'individus par quadrat) de 2003 à 2009. Les densités sont classées par déciles. Le nombre d'individus est indiqué en blanc dans les quadrats de densité maximale 105
- Figure A1.1 : Occurrence de bélugas (% de périodes de 30 minutes avec présence de bélugas) de 2003 à 2009, par tranches hebdomadaires. 150
- Figure A1.2 : Abondance moyenne de bélugas par BOI de 2003 à 2009, par tranches hebdomadaires, avec IC 95 % (noter qu'en 2008 l'échelle est différente). 151

Figure A2.2 : Proportions moyennes des types d'activité observés chez les troupeaux de bélugas à chaque BOI pour chaque mois des années 2004 à 2009, avec borne supérieure de l'IC 95 %	155
Figure A3.1 : Variation de la distribution spatiale des densités de bélugas (classées par déciles) à chaque phase de marée pour l'ensemble des données et pour chaque année de 2003 à 2009. Noter que l'échelle varie à chaque phase.	158
Figure A4.2 : Évolution du nombre moyen d'embarcations par BOI de 2003 à 2009, par tranches horaires, avec borne supérieure de l'IC 95 % et selon le type de propulsion.	177

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

BOI	Bloc d'observation instantané (balayage visuel de l'aire d'étude effectué à un intervalle régulier, en notant les observations dans le plus bref délai, de façon à donner une "image instantanée" du moment où le balayage est effectué).
HAE	Heure avancée de l'est (UTC -4).
IC 95 %	Intervalle de confiance à 95 %.
KW	Test de Kruskal-Wallis.
PMSSL	Parc marin du Saguenay–Saint-Laurent.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1.1 LE BELUGA DE L'ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT

Le béluga (*Delphinapterus leucas*) est un odontocète adapté au milieu arctique et subarctique qui fréquente les eaux côtières du Canada, de l'Alaska, du Groenland, de la Norvège et de la Russie (Brodie 1989; Martin et Reeves 2000). Sa répartition hivernale est associée aux zones de glaces où demeurent des eaux libres, alors que l'été on le retrouve notamment dans des estuaires qu'il fréquente avec fidélité (Fraker *et al.* 1979; Finley *et al.* 1982; Barber *et al.* 2001). Parmi les 29 populations identifiées pour cette espèce, celle de l'estuaire du Saint-Laurent est la plus méridionale (Brodie 1989; Martin et Reeves 2000). La présence de cette espèce arctique à cette basse latitude, à la limite des glaces annuelles de l'hémisphère nord, serait un vestige de la dernière glaciation. À la fin de cette ère, des bélugas s'établirent dans une mer intérieure qui se forma par l'inondation des côtes entraînée par le réchauffement climatique et demeurèrent dans la portion qui serait devenue l'actuel Saint-Laurent suite à l'abaissement du niveau de cette mer (Harington 1977).

La population de bélugas de l'estuaire du Saint-Laurent est considéré isolée des autres populations de l'arctique canadien autant sur le plan géographique que sur le plan génétique (Pippard 1985a; Sergeant et Hoek 1988; Patenaude *et al.* 1994; Lesage et Kingsley 1998). Cette population est relativement sédentaire, n'effectuant que des courtes migrations saisonnières à l'intérieur de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (Michaud *et al.* 1990; Lesage et Kingsley 1998). Pendant l'été, la population est concentrée de part et d'autre de l'embouchure du fjord du Saguenay, se distribuant entre l'Île aux Coudres et Les Escoumins / Rimouski dans l'estuaire du Saint-Laurent et jusqu'à St-Fulgence dans le fjord (Michaud 1993). Leur distribution hors période estivale est moins connue, mais selon les

informations disponibles on suppose qu'au printemps et à l'automne elle soit similaire à celle d'été (Boivin et Michaud 1990; Michaud et Chadenet 1990; Michaud *et al.* 1990), avec cependant une plus forte concentration d'animaux vers l'amont de l'estuaire au printemps et vers l'aval à l'automne (Michaud et Chadenet 1990; Michaud *et al.* 1990). En hiver, on observe une migration vers le nord-ouest du golfe du Saint-Laurent, bien que des animaux soient encore observés dans l'estuaire. La répartition hivernale varie probablement d'année en année selon les conditions de glace (Vladykov 1944; Boivin et Michaud 1990; Michaud *et al.* 1990; Lesage et Kingsley 1998; Kingsley 1999). Le couvert de glace est probablement le principal facteur influençant les migrations saisonnières du béluga puisqu'il entraîne le risque de piégeage dans les glaces et influence la disponibilité et l'accessibilité de proies (Bailey *et al.* 1977; Smith et Nelson 1986; Stirling 1997; Swain *et al.* 1998).

Le béluga s'alimente d'une vaste gamme de poissons et d'invertébrés pélagiques et benthiques (Vladykov 1944; Kleinenberg *et al.* 1964; Seaman *et al.* 1982; Lowry *et al.* 1985; Heide-Jørgensen et Teilmann 1994). Dans le Saint-Laurent, son régime alimentaire inclurait une cinquantaine d'espèces de proies, dont les principales seraient le capelan (*Mallotus villosus*), le lançon d'Amérique (*Ammodytes americanus*), l'ogac (*Gadus ogac*), la morue franche (*Gadus morhua*), les polychètes (*Nereis sp.*) et les céphalopodes dont le calmar (*Illex illecebrosus*) (Vladykov 1946). Il s'alimente également d'anguilles d'Amérique (*Anguilla rostrata*), d'éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax*), de harengs (*Clupea harengus*) ainsi que de poulamons atlantiques (*Microgadus tomcod*) (Bédard et Michaud 1995; Bédard *et al.* 1997). L'importance relative des proies varie selon les sites étudiés, les périodes et les opportunités des abondances saisonnières lors des migrations et de la fraye des poissons (Vladykov 1946).

Dans l'estuaire du Saint-Laurent, les naissances ont lieu entre juin et août. La femelle donne naissance à un seul veau à tous les trois ans, qu'elle allaite pendant 20 à 32 mois, ce qui inclut une période de chevauchement entre la lactation et la gestation (Brodie 1971; Sergeant 1973; Seaman et Burns 1981; Béland *et al.* 1990; Béland *et al.* 1992). Le veau

consommerait uniquement du lait pendant sa première année de vie (Brodie 1989). La maturité sexuelle est atteinte entre 8 et 14 ans chez les femelles et entre 12 et 14 ans chez les mâles (Brodie 1971; Sergeant 1973; Heide-Jørgensen; Teilmann 1994). La longévité est estimée à entre 30 et 60 ans et peut même dépasser 80 ans (MPO 2012).

La taille de la population de l'estuaire du Saint-Laurent est estimée à ~ 1 100 bélugas (Hammill *et al.* 2007). La population actuelle ne représente qu'une fraction de la population d'origine, évaluée à 7 800 à 10 100 individus, avant qu'elle ne soit décimée par la chasse intensive (MPO 2005; Hammill *et al.* 2007). L'aire de répartition actuelle représente 65 % de la distribution historique, qui était également centrée sur l'embouchure du Saguenay mais s'étendait plus loin vers l'amont de l'estuaire et du fjord ainsi que vers le golfe (Vladykov 1944; Mosnier *et al.* 2010). Depuis l'arrêt de la chasse, officiellement abolie en 1979, la population n'aurait pas montré de signe de rétablissement (Hammill *et al.* 2007). Des relevés aériens systématiques effectués entre 1988 et 2005 indiquent que la population n'a pas connu de hausse significative, contrairement à ce qui est attendu selon un taux de croissance normal (Hammill *et al.* 2007). Cependant, la tendance de la population est actuellement difficile à détecter en raison du faible taux de croissance de cette population et de l'incertitude liée aux estimations d'abondance (Michaud et Béland 2001; MPO 2012) et de leur faible taux de répétition (de 1988 à 2009 : 8 relevés photographiques et 28 visuels, dont 14 en 2005) (Mosnier *et al.* in prep., MPO, Institut Maurice-Lamontagne, Mont-Joli, Qc).

Selon le dernier rapport de situation effectué par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC), cette population serait menacée par l'industrialisation et la pollution (notamment par l'accumulation de contaminants dans les tissus et les répercussions potentielles sur la santé), le petit effectif et la faible diversité génétique, la perte et la perturbation de l'habitat (notamment par le bruit anthropique lié, entre autres, à la navigation commerciale, touristique et celle associée aux activités d'observations de mammifères marins) ainsi que, dans une moindre mesure, la concurrence pour les ressources alimentaires par les pêcheurs commerciaux et par certaines populations

de mammifères marins actuellement en croissance telles que certaines populations de phoques (COSEPAC 2004). Pour l'instant, l'absence de rétablissement du béluga du Saint-Laurent n'a pu être directement liée à aucune de ces causes potentielles (MPO 2012). Il est vraisemblable que plusieurs de ces facteurs agissent en synergie (Martineau 2007). Hammil et collaborateurs (2007) ont également émis l'hypothèse que l'absence de rétablissement de la population serait due à un problème de recrutement venant d'un taux élevé de mortalité des juvéniles.

Le béluga du Saint-Laurent est inscrit sur la liste des espèces en péril et protégé par la *Loi sur les espèces en péril* du Canada (MPO 2012). Son statut est passé en 2004 d'espèce « en voie de disparition » à espèce « menacée » au Canada, en raison de l'adoption de nouveaux critères de classification et d'une évaluation plus juste et moins conservatrice de la taille de la population (COSEPAC 2004). Avec cette désignation de statut, une équipe pour le rétablissement du béluga du Saint-Laurent a été formée conformément à la Loi et a élaboré un programme de rétablissement (MPO 2012). Le béluga est devenu un emblème de l'état de santé de l'écosystème du Saint-Laurent et du Saguenay (Ménard *et al.* 2007). La sensibilisation du public à la situation du béluga et les préoccupations du milieu régional pour la protection de cette espèce et de son habitat ont constitué un facteur déterminant dans la création du parc marin du Saguenay–Saint-Laurent (PMSSL) (Prescott et Gauquelin 1990; Ménard *et al.* 2007). Le parc marin couvre une grande portion (1246 km²) de l'aire de répartition estivale des bélugas (Ménard *et al.* 2007). En moyenne, près de 60 % des individus de la population se trouve à l'intérieur des limites du parc (figure 1) pendant l'été (Kingsley 1999; Ménard *et al.* 2007). Le parc marin offre une protection additionnelle aux bélugas, avec le *Règlement sur les activités en mer dans le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent*, qui limite à 400 m la distance d'approche aux bélugas (et aux autres espèces désignées en voie de disparition ou menacées), en plus de limiter la vitesse et la durée de présence des embarcations sur les sites d'observation de mammifères marins¹.

¹ Le *Règlement sur les activités en mer dans le parc marin du Saguenay–Saint-Laurent* est disponible à l'adresse <http://www.laws-lois.justice.gc.ca/fr/reglements/DORS-2002-76/>



Figure 1 : Localisation du parc marin du Saguenay–Saint-Laurent.

1.2 UTILISATION DE L'HABITAT

La compréhension de l'utilisation de l'habitat par le béluga du Saint-Laurent est primordiale afin de protéger les zones qui sont importantes pour ses fonctions vitales et favoriser le rétablissement de la population (MPO 2012). D'ailleurs, la *Loi sur les espèces en péril* commande la désignation de l'habitat essentiel de chaque espèce inscrite, lequel est défini comme étant l'habitat nécessaire à la survie ou au rétablissement de l'espèce. Il peut s'agir d'une aire d'alimentation, de croissance, de reproduction ou de toute autre aire dont la survie et le rétablissement de l'espèce peuvent dépendre. Dans un même habitat, plusieurs fonctions peuvent être effectuées, celles-ci n'étant pas mutuellement exclusives.

L'habitat essentiel du béluga du Saint-Laurent a été désigné dans la mesure du possible et en se basant sur la meilleure information disponible, malgré plusieurs lacunes dans les connaissances sur l'utilisation de son habitat et sur les fonctions qu'y sont associées (MPO 2012).

Les connaissances sur l'utilisation de l'habitat par le béluga du Saint-Laurent portent surtout sur l'utilisation actuelle de l'habitat en période estivale. Pendant l'été, les bélugas du Saint-Laurent se regroupent en troupes qui se différencient en fonction de l'âge et du sexe (Sergeant 1986; Michaud 1993). Les eaux peu profondes, plus chaudes et moins salées de l'estuaire moyen (en amont de l'embouchure du Saguenay) sont fréquentées surtout par des troupes d'adultes (vraisemblablement des femelles) accompagnés de juvéniles et de veaux. Les eaux plus profondes, froides et salées du chenal Laurentien, dans la portion nord de l'estuaire maritime (en aval de l'embouchure du Saguenay), sont fréquentées exclusivement par des troupes d'adultes (vraisemblablement des mâles). Le fjord du Saguenay, la tête du chenal Laurentien et la portion sud de l'estuaire maritime sont fréquentés par les deux types de troupes et par des troupes « mixtes » (composés de proportions intermédiaires d'adultes, juvéniles et veaux) (Michaud 1993). L'habitat essentiel actuellement désigné couvre l'aire de répartition estivale des femelles et des veaux puisque cet habitat supporte implicitement la fonction de mise bas et d'élevage des veaux et donc la survie des juvéniles (MPO 2012). De plus, les troupes de femelles et de jeunes démontrent un attachement plus fort envers leur habitat d'estivage que les mâles (MPO 2012). Cependant, les composantes qui supportent les fonctions vitales des bélugas dans cet habitat sont peu connues (Mosnier *et al.* 2010; MPO 2012).

Quelques études se sont déjà penchées sur l'utilisation à fine-échelle de l'habitat chez le béluga du Saint-Laurent et sur l'identification de secteurs d'importance relative à l'intérieur de son aire de distribution. Pippard et Malcolm (1978), Michaud (1993) et Lemieux-Lefebvre (2009) ont contribué à l'identification de plusieurs aires fortement utilisées par le béluga. Même si ces études ont été menées selon des méthodes différentes (e.g. observations à partir de la rive, relevés aériens et par bateau, systématiques et non-

systematiques, suivis à l'aide d'émetteurs radio) et à des époques différentes (étalées sur 4 décennies) et que le nombre d'aires identifiées varie d'une étude à l'autre (entre 9 et 26), plusieurs parmi les aires identifiées sont communes aux trois études. La superposition de ces aires en souligne leur importance et suggère qu'elles jouent un rôle particulier pour la population (Mosnier *et al.* 2010). Celles-ci incluent l'embouchure du Saguenay, la baie Sainte-Marguerite dans le Saguenay, la tête du chenal Laurentien et d'autres secteurs situés dans l'estuaire moyen. Les raisons d'utilisation de ces aires demeurent cependant peu connues et sont soit hypothétiques, soit basées sur des observations circonstancielles (Mosnier *et al.* 2010). Également, le degré de connectivité entre ces aires n'est pas encore bien compris. La capacité des bélugas de se déplacer sur des distances relativement longues et dans un temps limité a été démontrée à l'aide de suivis par émetteurs radio (Lemieux-Lefebvre 2009). Il est probable que plusieurs aires soient visitées successivement par les animaux afin de subvenir à leurs besoins biologiques et que certains secteurs soient utilisés comme corridors de déplacement (Pippard 1985a; Lemieux-Lefebvre *et al.* 2012). Il demeure important de comprendre l'utilisation circadienne et saisonnière de l'habitat et les patrons de déplacement à travers ces aires, ainsi que leur fonction biologique, afin de déterminer leur importance relative pour la survie et le rétablissement de la population (Mosnier *et al.* 2010). En particulier, une meilleure compréhension des besoins des bélugas envers les caractéristiques biophysiques de son environnement susceptibles d'influencer la présence des bélugas et de leurs proies est requise (MPO 2012).

1.3 L'EMBOUCHURE DU SAGUENAY

L'embouchure du Saguenay est sans doute un habitat particulier pour le béluga du Saint-Laurent. Par sa localisation centrale au sein de l'aire de distribution estivale du béluga, ce secteur possède implicitement une fonction de carrefour entre les différents habitats fréquentés dans le Saguenay et dans l'estuaire du Saint-Laurent. Dans les années 70 et 80, l'embouchure du Saguenay avait fait l'objet de quelques recherches qui avaient

documenté le taux de passages horaires de bélugas vers le fjord et vers l'estuaire (Caron et Sergeant 1988). Parmi ces études pionnières, certaines ont documenté la structure des classes d'âge des groupes, le comportement, la position approximative et les déplacements des bélugas par des suivis continus des animaux observés à partir de la rive (Pippard et Malcolm 1978; Laurin 1982), donnant un premier aperçu de l'utilisation de cet habitat. Des informations sur la fréquentation de ce secteur et d'autres régions proviennent également des suivis effectués par bateau (Pippard et Malcolm 1978; Laurin 1982; Michaud 1993; Lemieux-Lefebvre *et al.* 2012) et aériens (Pippard et Malcolm 1978; Laurin 1982; Kingsley et Hammill 1991; Kingsley 1993; Michaud 1993; Kingsley 1996, 1999; Gosselin *et al.* 2001; Gosselin *et al.* 2007), mais les méthodes diffèrent selon les études et les données ne sont pas toujours comparables. Seuls les suivis aériens effectués depuis les années 1988 utilisent une méthode systématique permettant la comparaison des données (Kingsley et Hammill 1991; Kingsley 1993, 1996, 1999; Gosselin *et al.* 2001, Gosselin *et al.* 2007) et une analyse de la distribution globale et de la taille de la population, sans toutefois permettre une analyse à fine échelle de l'utilisation des habitats particuliers, à cause du petit nombre d'échantillons (n=36 de 1988 à 2009) et de l'extrême brièveté des observations en un point donné (Mosnier *et al.* in prep., MPO, Institut Maurice-Lamontagne, Mont-Joli, Qc).

L'information aujourd'hui disponible indique que l'embouchure du Saguenay fait partie des aires les plus utilisées par les bélugas (Pippard et Malcolm 1978; Michaud 1993; Lemieux-Lefebvre 2009) et qu'elle est fréquentée par les trois types d'assemblages observés pendant l'été (troupeaux d'adultes, d'adultes accompagnés de jeunes et « mixtes ») (Michaud 1993). En plus d'être reconnue comme zone de transit entre le fjord et l'estuaire, l'embouchure du fjord a également été identifiée comme aire présumée d'alimentation (Pippard et Malcolm 1978; Laurin 1982). En effet, les bélugas ont souvent été observés à séjourner dans cette aire pour une période de temps prolongée, adoptant des comportements de surface typiques de l'alimentation (Kleinenberg *et al.* 1964; Pippard et Malcolm 1978; Laurin 1982). La présence récurrente de proies du béluga comme le capelan a également été documentée dans cette région (Laurin 1982; Marchand *et al.* 1999; Simard

et al. 2002; Simard *et al.* 2008), sans toutefois avoir été directement corrélée à la présence ou au comportement des bélugas. La seule étude ayant tenté d'élucider le lien entre la présence simultanée de bélugas et l'abondance de proies mesurée par sondage hydroacoustique n'a pas donné de résultats concluants pour l'embouchure du Saguenay (Turgeon 2012). L'utilisation de cette aire à des fins d'alimentation demeure donc actuellement hypothétique et n'exclut pas la possibilité que d'autres fonctions biologiques y soient associées.

L'embouchure du Saguenay est caractérisée par des processus océanographiques particuliers liés à sa bathymétrie irrégulière, à l'intense dynamique tidale et à la rencontre des eaux du fjord avec les eaux plus salées et froides provenant de la région adjacente d'upwelling tidal à la tête du Chenal Laurentien (Drainville 1968; Therriault et Lacroix 1975; Seibert *et al.* 1979; Saucier et Chassé 2000). Lors du flot, les eaux de la couche intermédiaire froide typique du chenal Laurentien remontent en surface à la tête du chenal et passent par-dessus le seuil peu profond (20 m) de l'embouchure du Saguenay, pour ensuite replonger sous les eaux superficielles du fjord (Therriault et Lacroix 1975; Saucier et Chassé 2000; Bélanger 2003). Cette intense dynamique de subduction est accompagnée par une forte turbulence et par la formation de fronts de densité prononcés (Saucier et Chassé 2000; Cloutier 2009) favorisant la formation d'agrégations de poissons fourragers tels que le capelan (Marchand *et al.* 1999; Simard *et al.* 2008). D'importantes agrégations de capelans se maintiennent également sur les hauts fonds à la tête du chenal Laurentien, se concentrant et se déplaçant en fonction de la marée (Simard *et al.* 2002). Des études ont mis en évidence l'influence de la marée et des fronts tidaux sur les agrégations de poissons pélagiques à l'embouchure du Saguenay et à la tête du chenal Laurentien. En effet, les fronts détectés dans ces régions présentent fréquemment des agrégations de jeunes capelans (Bailey *et al.* 1977; Laurin 1982; Ménard 1998; Marchand *et al.* 1999). En particulier, Simard et collaborateurs (2008) ont étudié la dynamique d'agrégation du capelan dans la région frontale de l'embouchure du Saguenay, montrant que ces agrégations se forment au cours du flot, lorsque la dynamique frontale est plus intense, et sont advectées avec le panache du Saguenay, qui est évacué dans l'estuaire pendant le jusant (Ingram 1976, 1985;

Saucier et Chassé 2000). Les études menées jusqu'à présent sur l'utilisation de l'embouchure du Saguenay par le béluga ont suggéré des liens avec la marée, comme l'adoption plus fréquente des comportements d'alimentation pendant le flot ou l'utilisation préférentielle de certains secteurs pendant le flot et d'autres pendant le jusant (Pippard et Malcolm 1978; Laurin 1982). Ces considérations sont cependant issues d'un nombre limité d'observations.

L'embouchure du Saguenay constitue également le centre névralgique du trafic maritime à l'intérieur du PMSSL (Chion *et al.* 2009). Cette région supporte, en période estivale, 13 % du temps total de navigation dans le PMSSL pour une superficie représentant seulement 1 % du parc. L'intensité de la navigation dans cette région est d'une part reliée à la présence d'un service de traversiers entre les deux rives du fjord, impliquant jusqu'à 3 navires en fonction simultanément, et d'autre part à la présence de plusieurs compagnies d'excursions en mer rattachées aux ports de Tadoussac et de Baie-Sainte-Catherine, pour environ une trentaine d'embarcations, chacune pouvant offrir plusieurs départs par jour (Chion *et al.* 2009). Le niveau de bruit généré par la navigation fait de l'embouchure du Saguenay un des endroits les plus bruyants dans le parc marin (McQuinn *et al.* 2011). Un bilan complet du bruit de navigation à l'embouchure, basé sur des séries de mesures en continu pendant 1,5 mois, a été réalisé récemment (Gervaise *et al.* 2012). Le bruit ambiant est à son niveau naturel pendant moins de 10 % du temps et la portée de communication potentielle du béluga est fortement réduite pendant les heures de plus fort achalandage (Gervaise *et al.* 2012). À proximité des sources, la bande ultrasonique d'écholocation est affectée par le bruit de la navigation. Celui-ci est dominé par les traversiers et accru par la flottille d'écotourisme lors des pointes quotidiennes de départ et arrivée des excursions (Gervaise *et al.* 2012).

Les effets du trafic maritime sur le béluga du Saint-Laurent sont peu connus. Des changements du comportement vocal des bélugas en présence de bateaux ont déjà été documentés dans l'estuaire du Saint-Laurent et ailleurs (Lesage 1993; Lesage *et al.* 1999; Scheifele *et al.* 2005; Erbe 2008), de même que des comportements d'évitement des

bateaux (Blane et Jaakson 1994). Il a également été proposé que le délaissement de la baie de Tadoussac par les bélugas et la diminution de leurs passages à l'embouchure du Saguenay, dans les années 70 et 80, soient reliés à l'augmentation de la circulation maritime qui a eu lieu à ces années (Pippard 1985b; Caron et Sergeant 1988). Bien que les effets de la navigation sur le béluga du Saint-Laurent demeurent peu connus, des effets ont déjà été documentés pour d'autres espèces de cétacés ailleurs dans le monde. Les réactions documentées vont de la modification ou l'interruption des activités normales au délaissement à court-terme ou à long-terme des zones perturbées (Richardson *et al.* 1995; Allen et Read 2000; Nowacek *et al.* 2001; Constantine *et al.* 2004; Bejder *et al.* 2006; Weilgart 2007). La navigation est considérée une menace pour le rétablissement de la population de bélugas du Saint-Laurent (MPO 2012). La compréhension des effets du trafic maritime sur le béluga du Saint-Laurent demeure une priorité afin de poursuivre la mise en œuvre des mesures visant à réduire leur impact sur cette population (MPO 2012).

Malgré la reconnaissance de l'importance de l'embouchure du Saguenay pour les bélugas, on comprend encore mal la dynamique d'utilisation de ce milieu particulier, la variabilité temporelle (interannuelle, saisonnière, circadienne et tidale) de la présence et du comportement des bélugas, la relation avec les processus physiques et biologiques liés à la formation des agrégations de capelan dans les fronts et l'interaction avec le trafic maritime.

1.4 OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE

Ce projet de recherche a comme objectif principal de :

- caractériser l'utilisation de l'embouchure du Saguenay par le béluga au moyen d'un suivi estival pluriannuel intensif et systématique de la fréquentation de cet habitat ;

par l'analyse de :

- l'occurrence et l'abondance de bélugas ;
- la composition en classes d'âge et la taille des troupes ;
- les comportements de surface ;
- la distribution spatiale des individus ;

et par l'analyse de facteurs externes pouvant influencer sur l'utilisation du secteur par le béluga tels que :

- le trafic maritime ;
- les autres espèces de cétacé.

Les objectifs spécifiques sont de :

- déterminer la variabilité de la fréquentation de cet habitat aux échelles interannuelle, saisonnière, circadienne et tidale et discuter des facteurs potentiellement responsables;
- vérifier si le cycle semi-diurne de marée influence de façon significative l'abondance, le comportement et la distribution spatiale des bélugas dans la région.

Ce travail s'inscrit dans les besoins de connaissances sur l'utilisation de l'habitat par le béluga du Saint-Laurent et sur la fonction des aires fortement utilisées, identifiés parmi les priorités du Programme de rétablissement (MPO 2012). Ce travail pourra également contribuer à mieux définir les habitats essentiels du béluga et les mesures de protection nécessaires afin de favoriser le rétablissement de la population.

CHAPITRE 2

MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 OBSERVATIONS VISUELLES

2.1.1 Limites de l'aire d'étude et matériel pour l'observation

Située à la confluence entre le fjord du Saguenay et l'estuaire du Saint-Laurent, l'aire d'étude se trouve au cœur du territoire du PMSSL (figure 1). Elle couvre la partie aval du bassin externe du Saguenay et une partie du seuil situé à son embouchure (figure 2), pour une aire totale d'environ 26 km². Elle s'étend de la Pointe Noire sur la rive sud du Saguenay, jusqu'au quai du traversier sur la rive nord et vers l'estuaire pour environ 5 km. Elle inclut la baie de Tadoussac (côté nord de l'embouchure) et la baie Sainte-Catherine (côté sud) dans leur ensemble visible à partir de la Pointe Noire. Les observations visuelles ont été effectuées à partir d'un point fixe sur la Pointe Noire (latitude nord 48,1229° et longitude ouest 69,7167°, mesurées par dGPS) sur la galerie du *Centre d'interprétation et d'observation de Pointe-Noire* de Parcs Canada (figure 3). Ce site offre une vue surélevée sur l'embouchure du fjord, avec une élévation de 34 m au poste d'observation.

Les données ont été recueillies à l'aide d'une jumelle de type 7x50 Bushnell, étanche, avec boussole et réticule télémétrique intégrés. La jumelle était fixée sur un trépied par le biais d'un socle de stabilisation à rembourrage interne de caoutchouc-mousse de fabrication artisanale, lui-même fixé sur la tête du trépied (figure 3). Les pattes du trépied étaient placées toujours au même endroit, grâce à des entailles qui ont été faites sur le plancher de la galerie. Un tapis antifatigue était fixé à l'extrémité de la galerie et perforé à trois endroits pour faciliter l'installation des pattes du trépied. À chaque installation du matériel d'observation, la jumelle était ajustée à la taille de l'observateur.

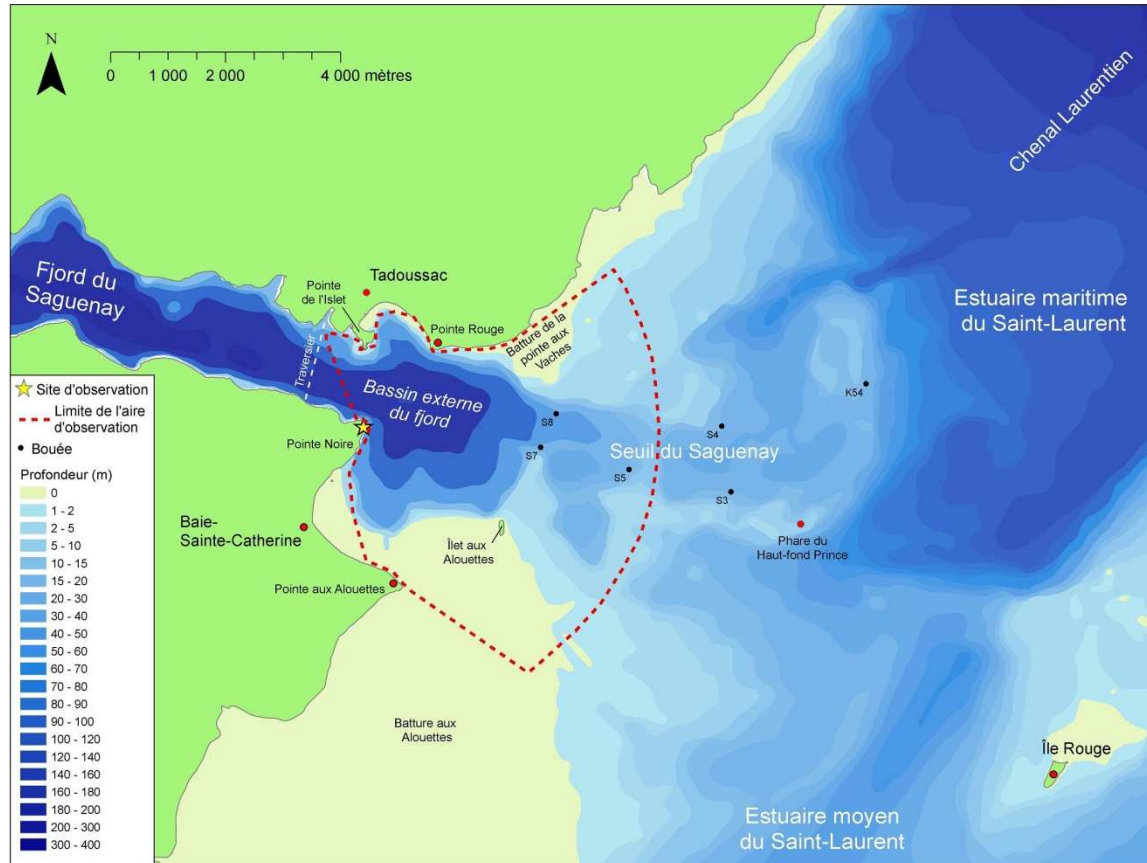


Figure 2 : Localisation de l'aire d'étude et du site d'observation.

La mise à niveau de la jumelle était assurée par deux bulles de niveau sur la tête du trépied, une pour l'axe vertical du trépied et l'autre pour l'inclinaison latérale de la jumelle. Une fois la mise à niveau effectuée, l'observateur fixait l'inclinaison frontale de la jumelle en utilisant deux points de repère terrestres connus (l'un identique pour tous les observateurs et l'autre variant selon l'observateur), de façon à ce qu'ils correspondent à une marque précise de l'échelle verticale du réticule télémétrique. Le point de repère en commun était un amer situé sur l'Îlet aux Alouettes (correspondant à la marque n°8, la plus haute, de l'échelle verticale, figure 4), en direction sud-est de l'observateur. L'autre point de repère était le toit d'un bâtiment du village de Tadoussac, sur la rive opposée du Saguenay, choisi par l'observateur de façon à obtenir une correspondance précise avec une des marques du réticule.



Figure 3 : Poste et matériel d'observation, avec vue centrée sur l'axe nord-est.

Une jumelle à grossissement 7x50 était utilisée de façon complémentaire lorsque l'objet observé se trouvait en dessous de la marque plus basse du réticule télémétrique (correspondant à une distance d'environ 400 m de l'observateur).

Pour la prise des données, les observateurs avaient à leur disposition une tablette d'écriture et des feuilles avec grille d'échantillonnage pré-imprimée. Une paire de lentilles polarisantes pouvait être fixée aux jumelles lorsqu'il fallait observer dans les zones de reflet du soleil sur l'eau. Le poste d'observation était délimité par une chainette et un écriteau expliquait le type d'étude effectuée et demandait aux visiteurs de ne pas déranger l'observateur pendant son travail.

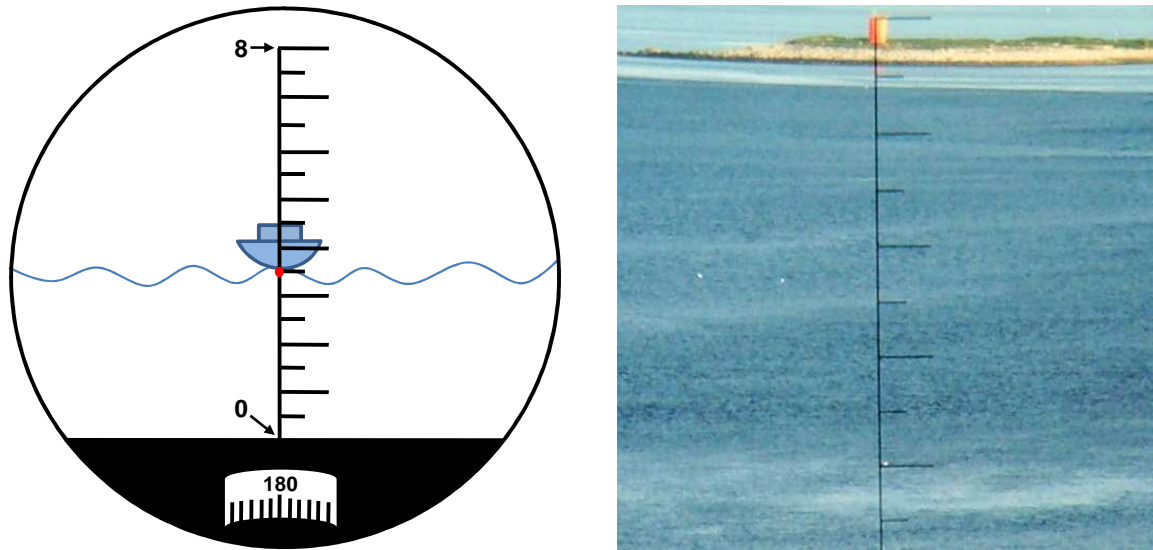


Figure 4 : Champ de vision de l'oculaire gauche de la jumelle, avec graduation verticale du réticule télémétrique (de 0 à 8 avec graduation 0,5) et boussole illustrés (à gauche) et point de repère commun aligné au réticule télémétrique (à droite).

Une calibration des distances lues par le télémètre a été effectuée, pour chaque observateur et chaque saison, à l'aide d'un bateau de Parcs Canada équipé d'un GPS. Pour chaque marque de graduation du réticule télémétrique, les coordonnées géographiques (latitude nord et longitude ouest) et les distances correspondantes étaient mesurées. La procédure de conversion des mesures télémétriques d'angles horizontal et vertical en distances réelles et en coordonnées géographiques est décrite au paragraphe 2.3.2.

2.1.2 Stratégie d'échantillonnage

L'échantillonnage a été effectué de 2003 à 2009 inclusivement dans les mois de juin, juillet et août et, en plus, aux mois de mai 2004 et 2009 et de septembre 2008 et 2009. En juillet et août de chaque année ainsi qu'en juin 2003, 2004 et 2009, mai 2009 et septembre 2008, l'échantillonnage s'étalait sur le mois entier (17 jours observés en moyenne). Les autres mois étaient couverts partiellement (tableau 1).

Tableau 1 : Périodes d'échantillonnage, nombre d'observations en condition de bonne visibilité et succession des observateurs au fil des saisons.

Échantillonnage :		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Total
période (jj/mm)	début	02/06	26/05	21/06	20/06	19/06	17/06	06/05	
	fin	19/08	21/08	24/08	26/08	22/08	26/09	15/09	
nombre d'observations par année	semaines	12	13	10	10	10	15	20	90
	jours	50	57	38	44	40	60	70	359
	heures	281	304	171	244	205	288	361	1853
	B.O.I.	1600	2051	1438	2023	1513	1804	2333	12762
nombre de jours par mois	mai	n.d.	4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	18	22
	juin	20	19	6	7	9	7	15	83
	juillet	19	19	19	17	17	15	21	127
	août	11	15	13	20	14	19	11	103
	septembre	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	19	5	24
nombre de BOI par mois	mai	n.d.	118	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	626	744
	juin	714	644	203	295	359	221	341	2777
	juillet	565	691	729	810	636	479	808	4718
	août	321	598	506	918	518	571	396	3828
nombre moyen de BOI (±écart-type)	par plage horaire (de 6h à 20h) :	906 (± 246)							
	par phase de marée (de 1 à 12) :	1064 (± 143)							
Observateurs* (n° d'identification) :		1	1+2	2	2	2	2	2+3+4	

* Les observateurs étaient : Sébastien Cloutier (1), Manuela Conversano (2), Cécile Ducatel (3) et Nicolas Parent (4).

Le protocole d'échantillonnage (Benoit 1998; Cloutier 2004; Conversano 2010) prévoyait des observations journalières pendant six heures complètes par jour et ce, cinq jours sur sept. Deux types d'horaire journalier étaient alternés de façon égale tout au long de la saison : de 6h00 à 13h30 et de 12h30 à 20h00 HAE. Généralement, une période continue d'observation durait deux heures. L'observateur prenait deux pauses au cours de la journée, une de 30 minutes et l'autre d'une heure, entre chaque période d'observation continue. Deux types d'horaire hebdomadaire étaient également alternés de façon régulière : du lundi au dimanche et du mercredi au vendredi. Ainsi, la base de données est représentative de chaque jour de la semaine et de toutes les heures comprises entre 6h00 et 20h00 (tableau 1). Ce protocole a été adopté pour les années où il y avait un seul observateur (2003, 2005, 2006, 2007, 2008) ou deux observateurs qui se sont succédés sans chevauchement (2004²). En 2009, la présence de 3 observateurs (tableau 1) a permis d'augmenter le nombre d'heures d'observation à certaines périodes. En effet, du 15 mai au 6 juin (observateurs « 2 » et « 3 ») et du 21 juin au 12 août (observateurs « 2 » et « 4 »), deux observateurs s'alternaient au cours de la même journée (i.e. un de 6h00 à 13h00 et l'autre de 13h00 à 20h00) ou d'une journée à l'autre (i.e. l'un observait pendant les journées de repos de l'autre et l'inverse). Notons qu'à partir de la mi-août, l'effort a été réduit à 2-3 jours semaine.

La prise des données s'effectuait par des « blocs d'observation instantanés » (BOI), c'est-à-dire des balayages visuels systématiques de l'aire d'étude, en sens horaire du fjord vers la baie Sainte-Catherine, dans lesquels on notait les positions et les caractéristiques des objets observés (bélugas, bateaux, autres cétacés) dans le plus bref délai, de façon à donner une « image » presque instantanée de l'aire d'étude pour chaque balayage. Les BOI étaient effectués à toutes les 10 minutes en absence de bélugas et à toutes les 5 minutes en présence de bélugas. Dans certains cas, en présence d'un nombre très élevé de bélugas ainsi que d'un trafic maritime intense, le délai de 5 minutes n'était pas suffisant pour tout noter.

² En 2004 l'observateur 1 a observé jusqu'en début août et l'observateur 2 a couvert seulement les trois dernières semaines d'échantillonnage

La prise des données était alors faite aux 10 minutes ou, si la densité de bélugas était particulièrement haute, aux 15 ou 20 minutes (rarement). Dans les plus longues périodes de balayage, l'observateur portait une attention particulière au déplacement des sujets afin de ne pas les noter deux fois au cours d'une même séquence.

2.1.3 Variables mesurées

À chaque BOI, l'observateur notait le numéro du BOI, la date, l'heure et des informations sur les conditions météorologiques, sur les groupes de bélugas, sur les embarcations et sur les autres cétacés présents dans l'aire d'étude. La liste des variables mesurées et des valeurs ou catégories attribuées à chaque variable est présentée dans le tableau 2. Pour chaque variable, des codes alphanumériques de 1 à 4 caractères étaient utilisés. Pour une plus grande précision des distances lues sur le réticule télémétrique, l'observateur estimait la position intermédiaire (0,25) entre les marques espacées de 0,5.

Pour les bélugas, le nombre d'individus par groupe était assigné après avoir observé au moins deux respirations consécutives des individus faisant surface, afin d'augmenter la probabilité de détection d'animaux. Les classes d'âge étaient attribuées selon la couleur et la taille des individus : les individus blancs étaient classés comme adultes, les blanc-grisâtres, gris ou gris-bleus étaient considérés comme juvéniles et les bruns ou brun-bleuâtres plutôt foncés et de plus petite taille étaient considérés comme veaux. Certains auteurs utilisent la catégorie « veau » pour définir uniquement les nouveau-nés (Lynas 1985; Béland *et al.* 1988; Blane 1990; Michaud 1992, 1994; Chadenet 1997) reconnaissables par la grosseur disproportionnée de l'œil, la projection de la tête hors de l'eau à chaque ventilation et la présence de plis fœtaux (Michaud 1994). D'autres auteurs font la distinction entre les *neonate calves* (< 12 mois) et les *yearling calves* (12 à 24 mois). Les deux types de veaux diffèrent par la taille et la couleur, mais ils ont en commun le fait de rester au flanc de leur mère présumée, de rarement s'en éloigner et d'être plus petits et plus foncés que les juvéniles plus âgés (Caron et Smith 1990). Dans la présente étude, la

catégorie « veau » inclut ces deux types de veaux (0 à 24 mois). Ces jeunes peuvent donc être des nouveau-nés ou des individus nés l'été précédent, donc des individus qui n'ont pas encore été sevrés, étant donné que l'allaitement dure environ 2 ans (Brodie 1989). Lorsqu'on observait un nouveau-né, on le marquait parfois dans les commentaires. Comme cela n'était pas fait de façon systématique et étant donné la difficulté de détecter des nouveau-nés au-delà d'une certaine distance, les observations de nouveau-nés n'ont pas été analysées dans une classe à part.

Pour la désignation de l'activité, l'observateur considérait que les bélugas étaient en « surplace » lorsque ceux-ci se maintenaient au même endroit près de la surface par faible dynamisme (en nageant contre-courant) ou lorsqu'ils se laissaient flotter en surface et porter par le courant (billotage). Le « déplacement » était identifié lorsque tous les individus d'un groupe avançaient par leur propre force (non seulement par dérive), se dirigeant simultanément dans une même direction. L'activité « alimentation » était désignée lorsque les bélugas demeuraient de façon prolongée dans une portion de l'aire d'étude, sans se diriger vers un point précis et sans présenter une formation de déplacement. Les animaux pouvaient plonger pendant quelques minutes et refaire surface au même endroit, pour plonger à nouveau après quelques respirations, possiblement pour s'alimenter en profondeur. Ils pouvaient également avoir un comportement plus actif en surface, ayant une orientation hétérogène au sein du groupe, en alternant rapidement leur direction de nage, tournant en rond et crachant parfois de l'eau dans l'air. Ces comportements sont typiques du comportement d'alimentation assumé des bélugas ou d'autres espèces d'odontocètes (Pippard et Malcolm 1978; Watts et Draper 1986; Werth 2000; Stacey et Hvenegaard 2002), mais il est impossible d'affirmer avec certitude que les animaux étaient réellement en alimentation. On notait que l'activité était « autre » lorsqu'on observait des comportements plus rares ou insolites, par exemple des jeunes très actifs en surface qui semblent jouer ou socialiser, des animaux qui émettent des sons hors de l'eau ou une femelle qui allaite son petit à proximité de la surface. Si l'observateur n'arrivait pas à déterminer quel type d'activité effectuaient les bélugas observés, il notait « indéterminée ».

Tableau 2 : Liste des variables mesurées à chaque BOI et des valeurs ou catégories attribuées à chaque variable.

Type	Variable	Valeurs ou catégories
Conditions météorologiques	Visibilité	2003 et 2004 : nulle, < 500 m, 500 - 2000 m, 2000 - 5000 m, > 5000 m. 2005 à 2009 : lecture sur le réticule télémétrique (0 = visibilité nulle, 8 = visibilité totale sur l'aire d'étude).
	Hauteur des vagues	Miroir, rides inférieures à 15 cm, vagues de 15 à 30 cm, de 31 à 60 cm, supérieures à 60 cm.
Groupe de bélugas	Distance de l'observateur	Lecture sur le réticule télémétrique ou estimation en tranches de 50 m (de 0 à 350 m) lorsque la distance est inférieure au 0 du réticule.
	Azimut par rapport au nord magnétique	Lecture sur la boussole (0 - 359°).
	Nombre d'individus	Total et par classe d'âge (adulte, juvénile, veau, indéterminée).
	Activité	Toutes les années : surplace, déplacement. À partir de 2004 : alimentation, autre. À partir de 2006 : indéterminée.
	Orientation des individus	Par rapport aux axes longitudinal et transversal du Saguenay, aucune orientation précise, alternance de directions.
	Cohésion entre les individus	Nulle, faible, modérée, forte.
	Dynamisme du groupe	Nul, faible, modéré, fort.
	Evaluation de l'observation	Incomplète, difficile, moyenne, bonne.
Embarcations	Type d'embarcation	Petite, moyenne, grande*, plaisance, voilier, kayak, cargo, croisière, motomarine, hydravion, autre embarcation motorisée, autre embarcation non motorisée.
	Distance de l'observateur et azimuth par rapport au nord magnétique	Comme pour les bélugas.
	Activité	immobile, déplacement, observation de bélugas, observation d'autres espèces.
	Espèce	Initiales du nom scientifique.
Espèces de cétacé autre que béluga	Nombre d'individus	Total (par groupe).
	Distance de l'observateur et azimuth par rapport au nord magnétique	Comme pour les bélugas.
	Activité	Déplacement, alimentation, autre.

* Les catégories « petite », « moyenne » et « grande » étaient utilisées uniquement pour les bateaux des compagnies d'excursion, de Parcs Canada, de la Garde Côtière Canadienne et de recherche et attribuées selon la taille (< 10m, 10-40m, >40m).

Par contre, cette notation a été utilisée uniquement à partir de 2006. Rappelons qu'en 2003 l'observateur distinguait uniquement si les bélugas étaient en surplace ou en déplacement. L'orientation des groupes était attribuée selon l'axe longitudinal du Saguenay (vers l'amont ou vers l'aval du Saguenay) et l'axe transversal (vers l'intérieur ou vers l'extérieur de la baie Sainte-Catherine s'ils se trouvaient dans le bassin externe du fjord, vers l'amont ou vers l'aval du Saint-Laurent s'ils se trouvaient sur le seuil). Si les individus d'un même groupe avaient une orientation hétérogène ou s'ils restaient stationnaires sans être dans l'axe longitudinal ou transversal du Saguenay, on notait « aucune orientation précise ». Ou encore, s'ils changeaient rapidement de direction ou ils tournaient en rond, on indiquait « alternance de directions ».

La cohésion était qualifiée « nulle » lorsque les individus étaient seuls ou à plus d'une longueur de corps l'un de l'autre, « faible » lorsqu'ils étaient à environ une longueur de corps l'un de l'autre, « modérée » lorsqu'ils étaient à moins d'une longueur de corps et « forte » lorsqu'ils étaient serrés les uns contre les autres. Pour le dynamisme, on considérait qu'il était « nul » lorsque les individus se laissaient flotter sans effectuer des mouvements évidents, « faible » lorsqu'ils effectuaient des mouvements calmes et fluides, « modéré » quand ils nageaient plus vigoureusement ou démontraient une vivacité évidente (sortant parfois les nageoires pectorales ou caudales hors de l'eau, crachant de l'eau ou émettant des sons dans l'air) et « fort » lorsqu'ils étaient très agités (par exemple, battant avec la tête ou les nageoires sur la surface, sautant partiellement hors de l'eau ou se tortillant les uns sur les autres).

L'observation était évaluée « incomplète » lorsqu'une ou plusieurs variables ne pouvaient pas être estimées, « difficile » lorsqu'on estimait qu'une large part d'erreur pouvait toucher une ou plusieurs variables, « moyenne » lorsqu'un léger doute demeurait quant à la qualité de la notation d'une des variables mais qu'on estimait l'ensemble de l'observation représentative de la réalité et « bonne » lorsqu'on estimait que l'information recueillie était tout à fait fidèle à la réalité observée.

Les embarcations des compagnies d'excursion, de Parcs Canada, de la Garde Côtière Canadienne et de recherche étaient classifiées selon leur taille (inférieure à 10 m - notamment des pneumatiques, entre 10 et 40 m ou supérieure à 40 m) en utilisant les notations « petite », « moyenne » et « grande ». Pour les bateaux d'excursion, on notait leur nom dans les commentaires, de sorte à pouvoir différencier dans l'analyse les bateaux d'excursion (très fréquents) des autres bateaux ayant un permis (moins fréquents)³. Les voiliers étaient différenciés des bateaux de plaisance lorsqu'ils se déplaçaient à moteur éteint.

Les espèces de cétacé autres que le béluga observées étaient le petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*), le rorqual commun (*Balaenoptera physalus*), le marsouin commun (*Phocoena phocoena*) et le rorqual à bosse (*Megaptera novaeangliae*). L'activité de « déplacement » était assignée lorsque les individus avançaient en ligne droite, en prenant quelques respirations de façon régulière avant de plonger, souvent sans plus être revus par la suite. Au contraire, quand les individus résidaient dans un secteur pour une période prolongée ou étaient très actifs en surface, on notait qu'ils étaient en « alimentation ». Il est à noter que les pinnipèdes ont été exclus des espèces à observer vue la difficulté à les repérer à partir de la rive au-delà d'une certaine distance.

2.2 ÉVALUATION DU BIAIS DE L'OBSERVATEUR ET DE LA DISTANCE

La base de données est issue d'observations visuelles effectuées par un ou plusieurs observateurs, dépendamment des années. Or, l'estimation de certaines variables est parfois subjective, ou peut varier en fonction de la capacité de l'observateur à détecter les bélugas et en estimer le nombre ou leurs caractéristiques (classe d'âge, activité, etc.). Si cette variation est importante, la comparaison entre les observations faites par des observateurs différents peut être difficile. Par ailleurs, la capacité de tout observateur à détecter des

³ Cette distinction a été faite à partir de 2005.

objets diminue naturellement avec la distance de ceux-ci par rapport à l'observateur, ce qui peut amener des biais importants dans la représentation spatiale de la distribution des bélugas. L'analyse spatiale effectuée jusqu'à présent avec les données utilisées dans cette étude a montré que la répartition des bélugas est plus concentrée à proximité du site d'observation de Pointe-Noire (Turgeon *et al.* 2008), ce qui pourrait laisser croire que le biais en fonction de la distance est important.

2.2.1 Tests d'observation simultanée à deux observateurs

À l'été 2008, deux tests ont été mis en place afin d'évaluer l'effet de l'observateur et l'effet de la distance sur l'abondance, les caractéristiques et la distribution spatiale des bélugas observés. Pour évaluer les biais quantitatifs et qualitatifs reliés à l'observateur, un premier test prévoyait l'observation simultanée par deux observateurs à partir du même site. Pour évaluer l'influence de la position de l'observateur sur la distribution spatiale des bélugas, un deuxième test prévoyait l'observation simultanée par deux observateurs placés sur les deux rives de l'embouchure.

Afin d'effectuer les observations simultanées à partir du même site, un deuxième observateur (observateur B)⁴ s'est positionné à côté de l'observateur attitré pour la saison 2008 (observateur A = observateur 2 dans le tableau 1) à Pointe Noire. Les deux observateurs étaient expérimentés pour ce genre de suivi, l'observateur A ayant déjà effectué plusieurs saisons d'échantillonnage à partir de Pointe Noire et l'observateur B ayant participé à un suivi similaire à la baie Sainte-Marguerite (autre site de fréquentation assidue du béluga). L'observateur A a maintenu sa position d'observation habituelle, tandis que l'observateur B s'est placé à sa gauche, à environ un mètre de distance. De cette façon, les deux observateurs avaient une visibilité similaire sur l'aire d'étude. L'observateur B était équipé des mêmes équipements et suivait les mêmes méthodes mentionnées

⁴ L'observateur B était Valérie Busque.

précédemment pour l'observateur A (voir chapitre 2.1). Les BOI débutaient toujours en même temps, aux 5, 10, 15 ou 20 minutes (selon l'abondance de bélugas et le temps qui était nécessaire pour tous les noter). La comparaison s'est déroulée les 20 août, 11, 12 et 13 septembre 2008 entre 10h00 et 17h00 HAE. Au total, 80 BOI ont été collectés. Une calibration des distances lues par le réticule du télémètre par l'observateur B a également été effectuée à l'aide d'un bateau de Parcs Canada positionné par GPS et servant de cible pour les mesures de distance.

Les sites qui ont été utilisés pour effectuer les observations simultanées à partir des deux rives sont celui de Pointe Noire et celui de Pointe Rouge. Ce dernier se situe sur la rive nord du Saguenay, juste en face de la Pointe Noire (figure 2). Il est caractérisé par des rochers qui surplombent l'embouchure, donnant une vue surélevée sur le bassin externe du fjord (figure 5). Le poste d'observation a été choisi à un endroit où les rochers étaient assez plats pour que l'installation du matériel soit facile et l'observation confortable, tout en gardant la plus haute altitude possible. La position (latitude nord $48,1357^{\circ}$, longitude ouest $69,7004^{\circ}$) et l'élévation du point d'observation (24,6 m aux pieds du trépied de la jumelle) ont été enregistrées avec un GPS WAAS (moyennes sur 30 minutes d'enregistrement). La distance entre les deux sites est de 1860 m.

Les observations à partir de Pointe Rouge ont été effectuées par l'observateur B ayant participé au premier test avec le même matériel d'observation et suivant le même protocole. À chaque jour, le trépied était replacé à la même place, en s'aidant avec des repères morphologiques du site. Les deux observateurs communiquaient par radio afin d'assurer le début des blocs d'observation au même moment. Le balayage visuel se faisait toujours du fjord vers la baie Sainte-Catherine. L'échantillonnage s'est déroulé dans les journées du 16, 17, 22 et 23 septembre 2008 entre 12h00 et 17h00 HAE. Un total de 47 BOI a été récolté. Les blocs d'observation pouvaient durer de 5 à 20 minutes, dépendamment de la quantité de bélugas présents dans l'aire. Il est à noter que les conditions de visibilité pouvaient différer d'une rive à l'autre en fonction du reflet du soleil sur l'eau, les observateurs regardant dans des directions différentes par rapport au soleil.



Figure 5 : Observateur posté à Pointe Rouge (premier plan) et site de Pointe Noire (visible à l'autre rive).

Le test de Wilcoxon a été utilisé pour tester la significativité des différences de quantités de bélugas observés à tous les BOI par chacun des observateurs. Le test a été appliqué sur le nombre de groupes, le nombre total d'individus, le nombre d'individus par classe d'âge, le nombre d'individus par type d'activité ainsi que sur les pourcentages de bélugas par catégorie. Le seuil choisi pour l'interprétation d'une différence significative est $\alpha = 0,05$. Les échantillons où les deux observateurs n'ont pas détecté de bélugas n'ont pas été pris en compte.

Afin d'évaluer l'influence de la distance sur la quantité de bélugas observés, les observations ont été regroupées par classes de distance de 200 m (0-200 m, 200-400 m, 400-600 m, etc.). Pour chacune de ces classes, la longueur de l'arc d'observation a été

mesurée pour la distance centrale de la classe (100 m, 300 m, 500 m, etc.). L'arc d'observation indique l'ampleur horizontale du balayage visuel à une certaine distance et sa longueur dépend non seulement de la distance par rapport à l'observateur, mais également de la morphologie de la côte. La mesure des différentes longueurs d'arc a été faite avec le logiciel *ArcGIS 9.2*. Le nombre de bélugas observés à chaque classe de distance a ensuite été divisé par la longueur de l'arc d'observation relatif à la classe, afin de bien comparer les densités de bélugas en fonction de la distance.

La cartographie de la distribution spatiale des bélugas a également été effectuée avec le logiciel *ArcGIS 9.2*. Afin de pouvoir comparer la distribution rapportée par les deux observateurs à chaque BOI, le centroïde et les axes principaux du nuage de positions des bélugas observés ont été calculés avec l'outil *Spatial Statistics*. Le centroïde correspond au centre de masse géographique d'une série de points distribués sur un plan. Ses coordonnées géographiques sont obtenues par la moyenne des coordonnées de latitude et de longitude des points. Les données ont été pondérées en fonction du nombre d'individus par point. Les axes principaux déterminent le grand et le petit axe d'une ellipse centrée au centroïde, orientée dans la direction de dispersion maximale et couvrant 95 % des points distribués sur le plan. Les valeurs calculées sont la longueur des axes majeur et mineur de l'ellipse ainsi que la direction géographique de l'axe majeur. Pour ces analyses, seuls les BOI où les deux observateurs ont détecté plus de trois groupes de bélugas ont été pris en compte. Les valeurs obtenues à chaque BOI ont été regroupées selon l'observateur et comparées avec le test de Wilcoxon.

Les résultats des tests d'observation simultanée à deux observateurs sont présentés dans la section 3.1.1. Ceux-ci ont globalement montré que la méthodologie de l'étude est efficace et non-biaisée et que l'effet de l'observateur et de l'emplacement du site d'observation sur l'abondance, les caractéristiques et la distribution spatiale des bélugas observés sont négligeables.

2.2.2 Biais de détection de juvéniles et veaux en fonction de la distance

Un autre biais potentiel à considérer est la possibilité que les individus gris ou bruns (juvéniles et veaux) soient plus difficiles à détecter ou identifier que les individus blancs (adultes), dont la couleur se démarque mieux par rapport au plan d'eau. Cette difficulté de détection d'individus gris ou bruns pourrait augmenter avec la distance de l'observateur. Un tel biais pourrait se traduire par une sous-estimation de la proportion de juvéniles et veaux et une surestimation de la proportion d'adultes dans les troupeaux observés. Les résultats de l'examen de la distribution des classes d'âge en fonction de la distance sont présentés à la section 3.1.2. Ceux-ci révèlent en effet l'existence d'un biais significatif de détection des juvéniles et des veaux à partir de 600 m de distance de l'observateur. Conséquemment, afin d'éliminer ce biais, seulement les observations effectuées dans un rayon de 600 m autour de l'observateur ont été utilisées dans le calcul des proportions moyennes annuelles et mensuelles des classes d'âge. Ainsi, les nombres totaux d'adultes, de juvéniles et de veaux ($N_{t(i)}$) par mois et par saison ont été calculés en multipliant le nombre total d'individus observés (N_t) par la proportion ($P_{(i)}$) de chaque classe d'âge observée dans les premiers 600 m à chaque mois ou année. Ce calcul assume qu'en moyenne la structure d'âge des groupes ne dépend pas de la distribution spatiale des bélugas à l'intérieur de l'embouchure du Saguenay (voir section 4.1). L'intervalle de confiance a été calculé suivant la formule de l'estimateur quotient (Scherrer 2007), issu de la proportion : $N_{t(i)} = N_t / (1 / P_{(i)})$.

2.3 TRAITEMENT DES DONNEES

Une fois la base de données corrigée et nettoyée, les variables descriptives ont été calculées en tenant compte uniquement des observations effectuées en bonnes conditions de visibilité (vagues inférieures à 30 cm et visibilité totale sur l'aire d'étude, soit 87 % des BOI). Pour les bélugas, les observations dont l'évaluation était « incomplète » ou

« difficile » (3 % des observations) ont été exclues. L'évaluation qualifiée « moyenne » (15 % des observations) a été considérée acceptable.

2.3.1 Analyses descriptives

Pour les bélugas, les variables descriptives calculées sont l'occurrence de périodes de 30 minutes avec présence de bélugas et, pour chaque BOI, l'abondance d'individus, la taille des groupes et des troupes, la composition des troupes selon la classe d'âge ainsi que le type d'activité, l'orientation, le dynamisme et la cohésion des groupes.

L'occurrence de bélugas a été calculée à l'échelle annuelle, mensuelle, hebdomadaire et circadienne en divisant le nombre de périodes d'observation de 30 minutes où il y avait présence de bélugas par le nombre total de périodes de 30 minutes d'observation pour chaque échelle de temps considérée (année, mois, semaine, plage horaire). Elle est présentée en pourcentage. Une période de 30 minutes est préférable au BOI pour indiquer la présence/absence de bélugas. En effet, les bélugas peuvent s'immerger pendant plus de 10 minutes et, en suite, refaire surface, sans avoir été « absents » de l'aire d'étude. Pour cette raison, le BOI, ayant normalement une durée de 5 ou 10 minutes, est moins adéquat pour ce type d'information. D'un autre côté, une période plus longue, par exemple 60 minutes, serait plutôt imprécise et comporterait l'exclusion de plusieurs échantillons, puisque les observations commençaient et finissaient souvent à la demie heure.

L'abondance annuelle, mensuelle, hebdomadaire et circadienne de bélugas a été calculée en moyennant le nombre d'individus observés à chaque BOI pour chaque échelle de temps considérée (année, mois, semaine, plage horaire), en incluant les BOI avec abondance nulle. L'abondance de bélugas a également été calculée en fonction du nombre de bateaux (de tous genres et motorisés uniquement) regroupés en 6 classes de densité. Les classes ont été définies selon les sixtiles (16,7 %) de la distribution de fréquence de la densité des bateaux de l'ensemble des observations. De plus, l'abondance de bélugas a été

analysée en fonction de la phase du cycle de marée semi-diurne et du marnage (principalement modulé par la composante mortes-eaux/vives-eaux). Le niveau d'eau par rapport au zéro hydrographique et la phase de marée correspondants à chaque observation ont été obtenus d'une base de données fournie par le Service Hydrographique Canadien. Le cycle de marée semi-diurne a été divisé en 12 périodes de la durée approximative d'une heure (appelées « phases » dans ce travail), comme dans l'atlas local des courants (MPO 1997). Les phases 1 à 6 correspondent au flot (la phase 1 étant la première heure suivant la basse mer et la phase 6 étant la dernière heure avant la pleine mer) tandis que les phases 7 à 12 correspondent au jusant (la phase 7 étant à la première heure suivant la pleine mer et la phase 12 étant la dernière heure avant la basse mer). L'effort d'échantillonnage a été reparti de façon relativement uniforme pour chaque phase de marée (tableau 1). Le marnage, obtenu par la valeur absolue de la soustraction des niveaux d'eau de deux étales de marée consécutives, a été subdivisé en 4 classes selon les quartiles des valeurs observées dans l'ensemble des données. Le nombre moyen d'individus a été calculé pour chaque phase de marée, pour chaque année et pour l'ensemble des données, ainsi que pour chaque phase de marée selon la classe de marnage et l'année. Les résultats en fonction du marnage ne sont pas présentés dans ce manuscrit étant donné leur variabilité et l'absence d'effet net. Par contre, un épisode de forte abondance correspondant aux vives-eaux est présenté à titre anecdotique.

Étant donné l'importance de la phase de marée sur le nombre d'individus (voir section 3.5.1) et son impact potentiel sur l'analyse des résultats à d'autres échelles temporelles de variabilité (e.g. échelle circadienne) ou en fonction de facteurs externes (e.g. trafic maritime), cette composante de variabilité a été contrôlée en tenant compte de l'effet de la phase au cours de l'année. Pour chaque phase de chaque année, un facteur de correction de l'abondance de bélugas en fonction de la phase de marée ($F(p)$) a été calculé. Pour une phase donnée, ce facteur est :

$$F(p) = (\bar{X}(\text{année}) - \bar{X}(p)) / \bar{X}(p)$$

où \bar{X} (*année*) est le nombre moyen d'individus par BOI observés dans une même année et $\bar{X}(p)$ est le nombre moyen d'individus par BOI observés dans la phase p de cette année. Ainsi, l'effet du cycle semi-diurne de marée sur l'abondance de bélugas observés (X) a été minimisé :

$$X_c = X + (F(p) * X)$$

où X_c est l'abondance corrigée par l'effet du cycle de marée semi-diurne. Cette correction a été effectuée lors du calcul des abondances horaires de bélugas (section 3.3.3) et des abondances utilisées pour tester l'effet du trafic maritime (section 3.6.1). Les autres abondances présentées sont celles réellement observées (non corrigées pour la marée).

En ce qui concerne la taille des groupes et des troupeaux, la classification utilisée ici s'inspire de celle utilisée par Michaud (1994). Ce dernier définit un troupeau comme étant l'ensemble des bélugas, solitaires ou en groupes, dont la distance entre les groupes ne dépasse pas 2 km. Plusieurs troupeaux pourraient fréquenter l'aire d'étude en même temps. Cependant, dans cette étude, nous considérons que tous les bélugas observés dans le même BOI appartiennent à un seul et même troupeau. La méthodologie employée et les nombreux déplacements des groupes à l'intérieur de l'aire d'étude ne permettent pas à l'observateur de distinguer les troupeaux présents. Pour la taille des groupes, des catégories correspondant au nombre d'individus observés dans chaque groupe ont été créées (1, 2, 3, 4, 5, 6 à 10, 11 à 15, 16 à 20)⁵ et leur proportion moyenne (en %) a été calculée pour chaque année. Pour la taille des troupeaux, on a calculé le nombre moyen de bélugas par BOI pour chaque année, en utilisant uniquement les BOI avec présence de bélugas. Par contre, il faut tenir compte que le nombre d'individus observés en surface pendant un balayage visuel est inférieur au nombre total d'individus présents dans l'aire d'étude lorsque des groupes sont en plongée. De plus, si un troupeau est composé de plusieurs groupes nageant à une certaine distance les uns des autres, il peut ne pas être totalement

⁵ Des groupes de 30 et de 70 individus ont été observés une seule fois chacun et n'ont pas été représentés dans les catégories de taille des groupes.

visible à l'observateur lorsqu'il arrive dans l'aire d'étude ou il la quitte. En effet, certains groupes peuvent franchir les limites de l'aire d'étude pendant un BOI et les autres pendant les BOI suivants. Donc, la taille des troupeaux calculée ici n'est qu'un indice de la taille des troupeaux réelle, qui est possiblement parfois plus grande que celle mesurée.

Pour la composition des groupes, le pourcentage et le nombre moyens d'individus regroupés par classe d'âge ont été calculés sur une base annuelle et mensuelle en utilisant les proportions observées dans les premiers 600 m (sections 2.2.2 et 3.1.2). La classe d'âge « indéterminée » a été exclue pour le calcul des pourcentages et n'est pas présentée dans les résultats. Le pourcentage de chaque type d'activité a également été calculé pour chaque BOI et moyenné par année, mois et phase de marée. Vu la ressemblance entre l'activité de surplace et certains comportements d'alimentation, les deux catégories ont été regroupées en une seule catégorie (groupes en surplace $n = 235$, groupes en alimentation $n = 8838$), en excluant les groupes en billotage ($n = 88$). Les catégories « autre » et « indéterminée » ont été exclues pour le calcul des pourcentages et ne sont pas présentées dans les résultats, vue leur utilisation inégale au cours des années d'échantillonnage et leur rare occurrence (3 % des groupes). Enfin, les pourcentages moyens d'individus par BOI, regroupés selon leur orientation, la cohésion et le dynamisme de leur groupe, ont été calculés pour chaque année et phase de marée.

Pour la navigation, le pourcentage de chaque type d'embarcation sur l'ensemble de la flottille observée a été calculé pour chaque année et pour l'ensemble des données. Le nombre moyen d'embarcations par BOI a également été calculé sur base annuelle, mensuelle et circadienne, en séparant les embarcations motorisées des non motorisées. Le nombre de départs effectués par la traverse Tadoussac/Baie-Sainte-Catherine a également été calculé pour chaque plage horaire d'observation, selon le nombre de traversiers en marche simultanément (1, 2 ou 3, variant selon l'heure du jour et la saison touristique). Pour ce calcul, les données utilisées sont celles de l'horaire affiché sur le site internet de la

Société des Traversiers du Québec⁶. L'horaire estival n'ayant pas changé d'une année à l'autre, un seul graphique est présenté.

Pour les autres espèces de mammifères marins, l'abondance moyenne annuelle d'individus par BOI de chaque espèce a été calculée comme pour les bélugas. Le nombre moyen d'individus de chaque espèce présents simultanément à chaque BOI a également été calculé en moyennant les abondances des BOI où l'espèce était présente. Pour les petits rorquals, les pourcentages d'alimentation et de déplacement sur l'ensemble des activités observées ainsi que l'abondance moyenne d'individus par phase de marée ont été calculés sur l'ensemble des données. Ces variables n'ont pas été calculées pour les autres espèces, vu leur présence sporadique (0,7 % des BOI).

2.3.2 Positionnement et cartographie des données

Les coordonnées géographiques (latitude et longitude) de chaque objet à cartographier ont été calculées à partir de la lecture de la position de l'objet sur le réticule télémétrique de la jumelle (i.e. nombre de graduations à partir du bas vers le haut, figure 4), ou de la distance estimée entre l'observateur et l'objet lorsque celui-ci se trouve au-dessus du réticule, et de l'azimut (angle horizontal entre l'axe observateur-objet et le nord magnétique) lu sur la boussole. Afin de convertir ces données en coordonnées géographiques, plusieurs facteurs ont été pris en compte (figure 6):

- le niveau de référence des cartes marines, ou zéro hydrographique (niv_0) ;
- le niveau d'eau par rapport au niv_0 au moment de l'observation (niv_E) ;
- la hauteur de la jumelle (h_{jum}) ;

⁶ <http://www.traversiers.gouv.qc.ca>.

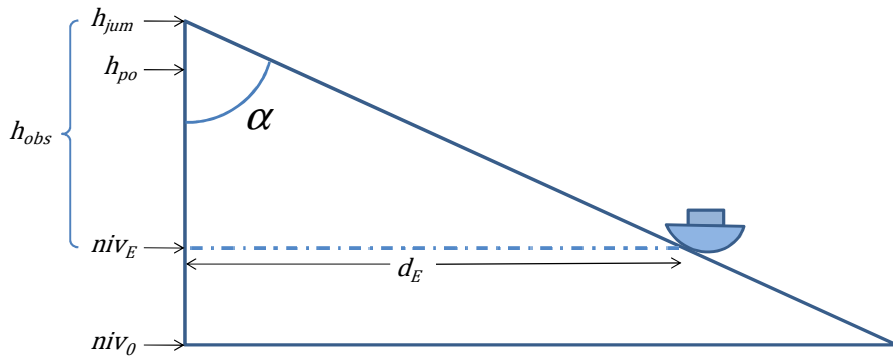


Figure 6 : Illustration des différentes mesures prises en compte dans le calcul des coordonnées géographiques, dans le plan vertical observateur-objet.

- l'élévation du point d'observation au plancher de l'observatoire (h_{po}) et de l'observateur (h_{obs}) par rapport au niv_E ;
- l'angle vertical entre l'observateur et l'objet (α) ;
- la distance effective entre l'observateur et l'objet (dE).

D'abord, les distances entre l'observateur et le bateau positionné en correspondance des marques du réticule du télémètre lors de la calibration, dE_{cal} (en mètres), ont été calculées :

$$dE_{cal} = \sqrt{dx^2 + dy^2} * 60 * 1852$$

où

$$dx = (lon_{bat} - lon_{obs}) * \cos \left[\frac{(lat_{bat} + lat_{obs})}{2} \right]$$

et

$$dy = lat_{bat} - lat_{obs}$$

où lat_{bat} et lon_{bat} sont les coordonnées géographiques (latitude et longitude) du bateau, lat_{obs} et lon_{obs} sont celles de l'observateur.

L'élévation de l'observateur (h_{obs}) au moment de la calibration a été obtenue par :

$$h_{obs} = h_{po} + h_{jum} - niv_{Ecal}$$

où h_{po} est l'élévation du plancher où est placé le trépied de la jumelle, h_{jum} est la hauteur de la jumelle, variant selon l'observateur, et niv_{Ecal} est le niveau d'eau au moment de la calibration.

L'angle vertical entre l'observateur et le bateau au moment de la calibration, α_{cal} (en radians), correspondant à chaque marque du réticule du télémètre, a également été calculé :

$$\alpha_{cal} = atan\left(\frac{dE_{cal}}{h_{obs}}\right)$$

Ensuite, les coefficients (a et b) de la droite de calibration $\alpha = a + b * corr_{jum}$ ont été estimés par la régression linéaire des valeurs α_{cal} et $corr_{jum}$ (lecture du réticule télémétrique) obtenues lors de la calibration (figure 7). Ces coefficients ont été utilisés pour convertir la lecture $corr_{jum}$ de chaque objet (béluga, bateau, autre cétacé) observé lors de l'échantillonnage en angles verticaux α . La distance effective dE entre l'observateur et chaque objet observé est alors fournie par :

$$dE = \tan(\alpha) * h_{obs}$$

L'azimut magnétique (angle de l'axe observateur-objet par rapport au nord magnétique) a été converti en azimut vrai (angle par rapport au nord géographique) par :

$$z_v = z_c + D$$

où z_v est l'azimut vrai, z_c est l'azimut magnétique et D est la déclinaison magnétique de la région au moment de l'échantillonnage⁷.

⁷ Les valeurs de la déclinaison magnétique ont été obtenues sur le site internet de la Commission géologique du Canada (<http://geomag.nrcan.gc.ca/apps/mdcal-fra.php>). Pour l'aire d'étude, elles varient entre 18° 51' ouest (en 2003) et 18° 07' ouest (en 2009).

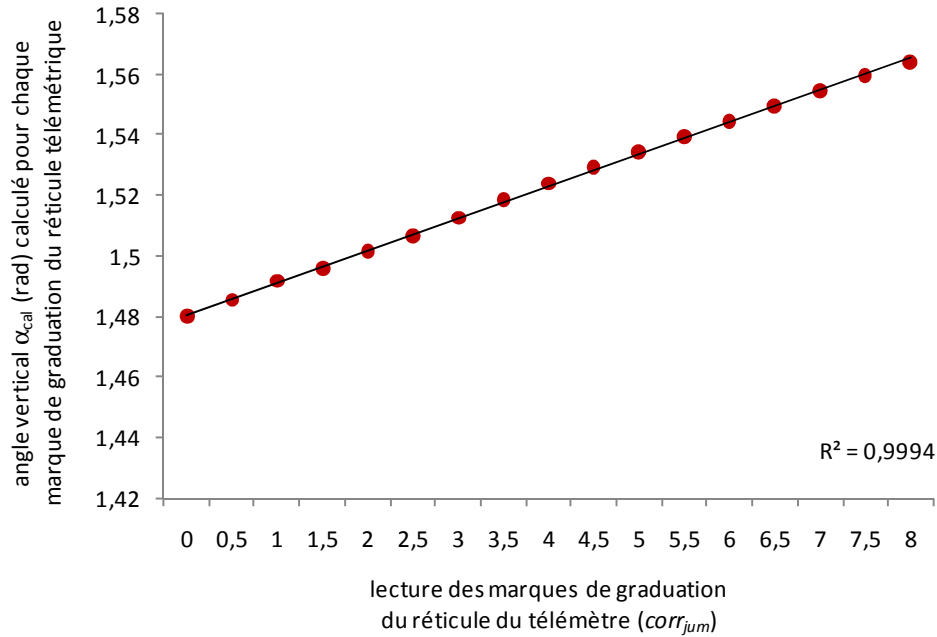


Figure 7 : Exemple de droite de calibration réalisée pour le calcul des angles verticaux α en fonction de l'échelle du réticule du télémètre pour un observateur en 2009.

La latitude et la longitude des objets observés ont été dérivées de la formule de Haversine (Sinnott 1984) :

$$lat_{obj} =$$

$$\sin^{-1} \left[\sin \left(lat_{obs} * \frac{\pi}{180} \right) * \cos \left(\frac{dE}{R_T} \right) + \cos \left(lat_{obs} * \frac{\pi}{180} \right) * \sin \left(\frac{dE}{R_T} \right) * \cos \left(z_v * \frac{\pi}{180} \right) \right] * \frac{180}{\pi}$$

$$lon_{obj} =$$

$$lon_{obs} + \text{atan2} \left[\sin \left(z_v * \frac{\pi}{180} \right) * \sin \left(\frac{dE}{R_T} \right) * \cos \left(lat_{obs} * \frac{\pi}{180} \right), \cos \left(\frac{dE}{R_T} \right) - \sin \left(lat_{obs} * \frac{\pi}{180} \right) * \sin \left(lat_{obj} * \frac{\pi}{180} \right) \right] * \frac{180}{\pi}$$

où R_T est le rayon de la terre (6 371 000 m).

La cartographie des objets observés a été effectuée avec le logiciel *ArcGIS 9.2*. Afin d'étudier la distribution spatiale des bélugas dans l'aire d'étude, cette dernière a été subdivisée en une série de quadrats de taille égale. Pour cela, une grille couvrant l'ensemble des observations de bélugas de 2003 à 2009 a été générée avec l'outil *Hawths Tool* (Beyer 2004). Le décompte de bélugas dans chaque quadrat a ensuite été effectué selon différents critères (année, phase de marée), fournissant ainsi des patrons d'utilisation spatiale de l'aire d'étude.

Les observations de bélugas à des distances supérieures à 3000 m ont été exclues des analyses spatiales, étant donné que la résolution des mesures de distance par télémètre à réticule se détériore en fonction de la distance (figure 8 et 9). Lorsqu'on projette les échelons du réticule, gradués à 0,25 unités, sur le plan d'eau, la distance entre un échelon et l'autre augmente de façon exponentielle plus on s'éloigne de l'observateur (figure 9). La distance entre les projections des échelons augmente particulièrement à partir de la marque 7,5, qui correspond en moyenne à une distance d'environ 3000 m de l'observateur (figure 10). La distance entre les projections de deux échelons subséquents est alors supérieure à 1000 m, alors qu'en bas de la marque 7,25 elle est inférieure à 600 m (figure 10). Ainsi, en excluant les observations à une distance supérieure à 3000 m, l'erreur maximale dans l'évaluation de la distance d'un béluga se trouvant à mi-chemin entre deux échelons est de 300 m. Toutes les données conservées se trouvent à l'intérieur du bassin externe du fjord dans l'aire d'étude, sa limite aval se situant à une distance d'environ 3000 m du site d'observation de Pointe-Noire (figure 9).

Compte tenu de l'imprécision du positionnement des bélugas et de la taille de l'aire d'étude, une taille de 400 m a été choisie comme dimension des quadrats (figure 11). Une dimension plus petite augmenterait la probabilité d'avoir des quadrats vides (à cause de l'écart entre les marques de graduation du télémètre) alors que des quadrats plus grands diminueraient encore plus la résolution du patron spatial. La même grille de résolution 400 x 400 m a été utilisée pour représenter la distribution spatiale des abondances de petits rorquals pour l'ensemble des observations.

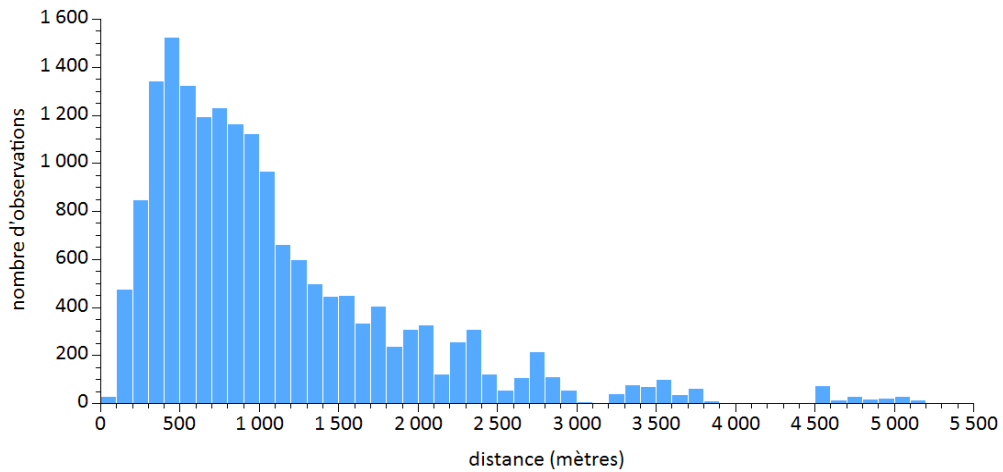


Figure 8 : Répartition des observations de bélugas selon la distance de l'observateur, présentée en tranches de 100 m (les données aux distances supérieures à 5 500 m ont été exclues du graphique), pour l'ensemble des années.

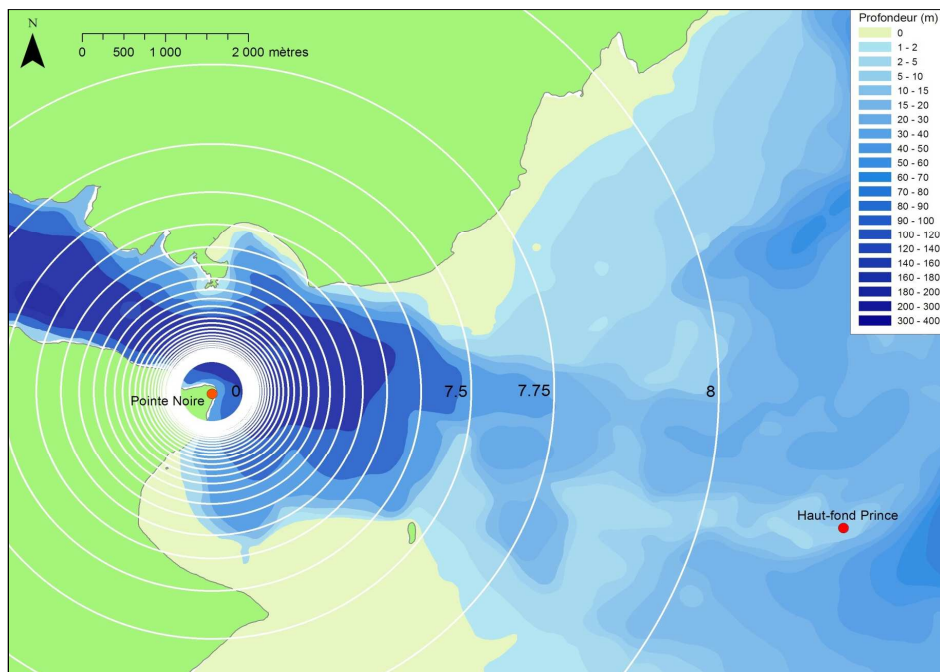


Figure 9 : Projection des échelons du réticule du télémètre (de 0 à 8 avec graduation 0,25) à 360° sur un plan horizontal d'élévation égale à la moyenne des niveaux d'eau observés dans l'ensemble des données.

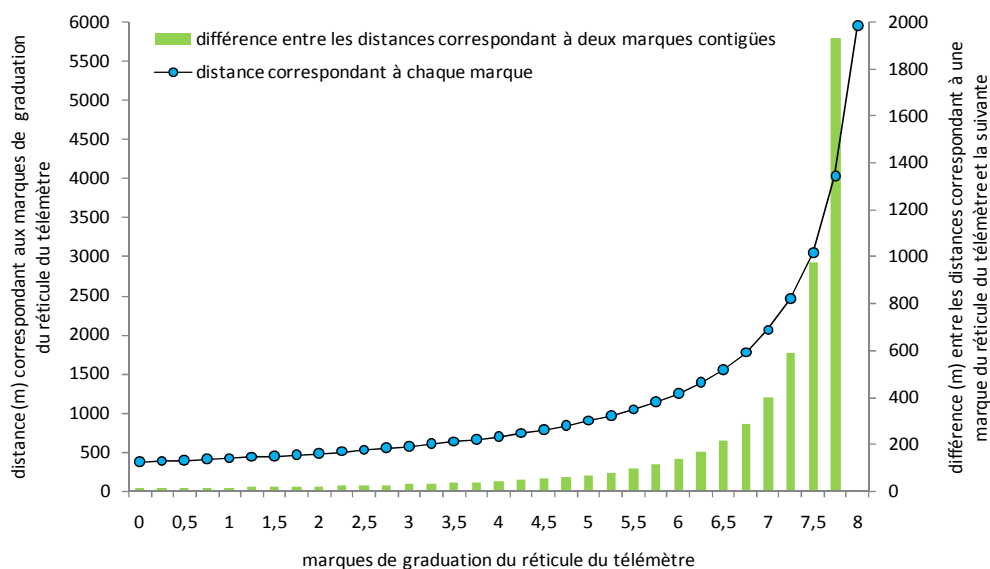


Figure 10 : Distances correspondant aux marques de graduation du réticule du télémètre et croissance du pas entre deux graduations pour un niveau d'eau égal à la moyenne observée dans l'ensemble des données.



Figure 11 : Quadrats de 400 m carrés, numérotés (1 à 90), couvrant l'ensemble des observations de bélugas pour les distances inférieures à 3000 m de l'observateur.

2.3.3 Tests statistiques

Les tests statistiques ont consisté en la comparaison de moyennes et de séries de valeurs et ils ont été réalisés au moyen du logiciel *JMP* (Version 9.0.1, SAS Institute, <http://www.jmp.com/>). Les tests non paramétriques ont été préférés puisqu'ils peuvent être effectués sur des données qui ne répondent pas parfaitement à des conditions de normalité, comme c'était le cas pour certaines variables. Le seuil de probabilité significative utilisé dans tous les tests a été $p \leq 0,05$. Pour comparer les moyennes de deux séries de données appariées, le test non paramétrique de Wilcoxon a été utilisé (Zar 1999). Pour les comparaisons de deux moyennes non appariées ou de plus de deux moyennes, celui de Kruskal-Wallis (KW) a été employé. Lorsqu'une différence significative était détectée dans un test d'une série de moyennes, le test de comparaisons multiples non paramétrique de Dunn (Zar 1999) était alors effectué pour déterminer lesquelles des moyennes différaient significativement entre elles. Les moyennes ne différant pas significativement entre elles ont été identifiées par une même lettre (groupe de similitude), une moyenne pouvant appartenir à plusieurs groupes. Pour la comparaison multiple des abondances moyennes annuelles de bélugas, le test de Tukey a été préféré à celui de Dunn parce que ses résultats étaient plus facilement interprétables. Bien que le test de Tukey soit paramétrique, il est robuste aussi aux données déviant de la normalité (Keselman 1976).

Pour comparer différentes paires de séries à différentes échelles de temps, le test de corrélation non paramétrique de Spearman a été utilisé.

Pour identifier la présence de patrons récurrents d'abondance moyenne de bélugas au cours du cycle de marée pour l'ensemble des 7 années, une analyse par groupement hiérarchique a été réalisée (Legendre et Legendre 1998). D'abord, pour chaque phase de marée (1 à 12) et chaque année, les abondances annuelles moyennes à chaque phase ont été comparées entre elles avec le test de comparaison multiple de Dunn (mentionné ci-dessus). Pour chaque année, des groupes de phases ne différant pas entre elles ont alors été identifiées par une lettre (groupe de similitude), une phase pouvant appartenir à plusieurs

groupes. Ainsi, pour chaque année, une phase est décrite par son appartenance aux différents groupes de similitude. Pour l'ensemble des 7 années, une phase est décrite par son appartenance à l'ensemble des groupes retrouvés à chaque année. Dans chaque cellule de la matrice, une phase n'appartenant pas à un groupe a été notée 0 et une phase appartenant à un groupe a été notée 1. Ainsi, une matrice binaire de n phases x m groupes de similitude ($n = 12$, $m = 31$) a été construite à partir l'appartenance (0, 1) aux groupes de similitude identifiés à chaque année. Cette matrice a été soumise à un groupement moyen utilisant la distance euclidienne comme métrique pour identifier les patrons récurrents d'abondance en fonction du cycle de marée pour l'ensemble des 7 années.

Pour identifier des patrons moyens d'utilisation spatiale de l'habitat selon le cycle de marée, les abondances moyennes par quadrat ont été calculée pour chaque phase de marée et chaque année (i.e. 84 cartes = 12 phases x 7 années). Afin de minimiser l'effet de variation d'abondance entre les années et les phases de marée, la série de données a alors été standardisée. Pour une carte donnée, la densité moyenne a été calculée et ensuite convertie en son centile par rapport à la distribution des valeurs pour cette carte. Ces centiles ont été arrondis à leur décile correspondant. Une résolution au décile a été choisie afin de négliger les fines variations que la précision de la méthode utilisée ne justifiait pas. Ainsi, une matrice spatio-temporelle (n objets (84 cartes) x m attributs (90 quadrats, abondances de bélugas)) des déciles du nombre de bélugas a été créée. Afin de vérifier si la répartition spatiale des animaux présentait des patrons récurrents au cours de la marée, la matrice ci-dessus (84 x 90) a été soumise à une analyse par groupement hiérarchique à liens complets (Legendre et Legendre 1998) afin de grouper les 84 observations selon la similitude des patrons de dispersion (utilisant la distance euclidienne comme métrique). Finalement, pour chaque groupe identifié dans le dendrogramme, la moyenne des valeurs des déciles de chaque quadrat a été effectuée et la carte représentant ce groupe a été construite. Les caractéristiques moyennes des groupes ont ensuite été calculées en fonction de la phase de marée. Des tests exacts de Fisher à un échantillon (Zar 1999) ont ensuite été réalisés pour tester la signification des différences selon la phase de marée à l'intérieur du même groupe.

Ces informations générales sur les tests statistiques sont rappelées dans le contexte des tests réalisés dans la section résultats.

CHAPITRE 3

RÉSULTATS

3.1 BIAIS RELIES A L'OBSERVATEUR ET A LA DISTANCE

3.1.1 Résultats des tests d'observation simultanée à deux observateurs

Lors des observations simultanées à deux observateurs postés les deux à Pointe Noire, l'observateur B a détecté un nombre total d'individus légèrement inférieur par rapport à l'observateur A (14 % de moins) (tableau 3). Les pourcentages d'individus par classe d'âge montrent également des variations légères entre les deux observateurs. Les pourcentages des types d'activité observée sont presque identiques, sauf pour la catégorie « indéterminée ». Le nombre de groupes observés varie de façon plus marquée : l'observateur B a détecté 29 % moins de groupes que l'observateur A. Le test de Wilcoxon montre qu'il n'y a aucune différence significative entre le nombre total d'individus, le nombre d'adultes, de veaux et de juvéniles observés par chaque observateur. Le même résultat a été obtenu pour les pourcentages relatifs. Par contre, le nombre de groupes ainsi que le nombre et le pourcentage d'individus d'âge indéterminé observés par les deux observateurs diffèrent de façon significative. Pour ce qui concerne les types d'activité, seulement la catégorie « indéterminée » diffère significativement (nombre et pourcentage d'individus).

Pour ce qui est des observations effectuées à partir des deux rives opposées, les écarts entre le nombre d'individus observés au total par les deux observateurs sont supérieurs à ceux obtenus depuis la même rive (tableau 3). L'observateur posté à Pointe Rouge a détecté un nombre total d'individus sensiblement inférieur par rapport à celui posté à Pointe Noire (39 % de moins). L'écart est encore plus grand pour la quantité de groupes observés (48 % de moins). Les pourcentages des individus regroupés par classe d'âge et ceux des activités

Tableau 3 : Nombre et pourcentages d'individus par classe d'âge et par type d'activités observés par les deux observateurs à partir de la même position (A et B) et des deux rives opposées (Pointe Noire et Pointe Rouge).

observateur	nombre de groupes	nombre de bélugas par classe d'âge					nombre de bélugas par type d'activité					
		total	adulte	juvénile	veau	indét*	déplac*	alim*	surplace	autre	indét*	
A	total	538 [†]	1437	957	367	11	102 [†]	814	579	2	0	42 [†]
	%	-	-	66,6%	25,5%	0,8%	7,1% [†]	56,6%	40,3%	0,1%	0,0%	2,9% [†]
B	total	383 [†]	1238	906	249	20	63 [†]	637	574	1	11	9 [†]
	%	-	-	73,2%	20,1%	1,6%	5,1% [†]	51,5%	46,4%	0,1%	0,9%	0,7% [†]
Pointe Noire	total	483 [†]	1325 [†]	760 [†]	335 [†]	19	211	693	484	20	2	126 [†]
	%	-	-	57,4%	25,3% [†]	1,4%	15,9%	52,3%	36,5%	1,5%	0,2%	9,5% [†]
Pointe Rouge	total	249 [†]	800 [†]	405 [†]	178 [†]	19	198	446	350	0	3	1 [†]
	%	-	-	50,6%	22,3% [†]	2,4%	24,8%	55,8%	43,8%	0,0%	0,4%	0,1% [†]

[†] Valeurs significativement différentes (test de Wilcoxon, $p > 0,05$) ; * « indét » = indéterminée, « déplac » = déplacement, « alim » = alimentation.

observées sont très similaires, sauf pour la catégorie « indéterminée ». Le test de Wilcoxon révèle que le nombre de groupes et d'individus détectés par les observateurs à tous les BOI diffère significativement, sauf pour les veaux et les individus d'âge indéterminé. La différence entre les pourcentages de juvéniles est également significative, tandis que pour les autres classes la probabilité est supérieure au seuil ($\alpha = 0,05$). Pour le type d'activité, seuls le nombre et le pourcentage de bélugas notés en activité « indéterminée » diffèrent de façon significative.

L'évolution du nombre de bélugas détectés à tous les BOI par chaque observateur est illustrée à la figure 12. Les abondances de bélugas détectés à tous les BOI par chaque observateur à partir de la même position et à partir des deux rives opposées sont, généralement, très similaires. La corrélation entre chaque paire de séries est, en effet, élevée (ρ de Spearman = 0,87 à partir de la même rive et 0,80 à partir des deux rives opposées) et la pente n'est jamais significativement différente de 1,0. Pour les observations effectuées à partir de la même rive, des écarts plus marqués s'observent lors de la présence d'un grand nombre de bélugas (plus de 30 individus). Le nombre moyen de bélugas

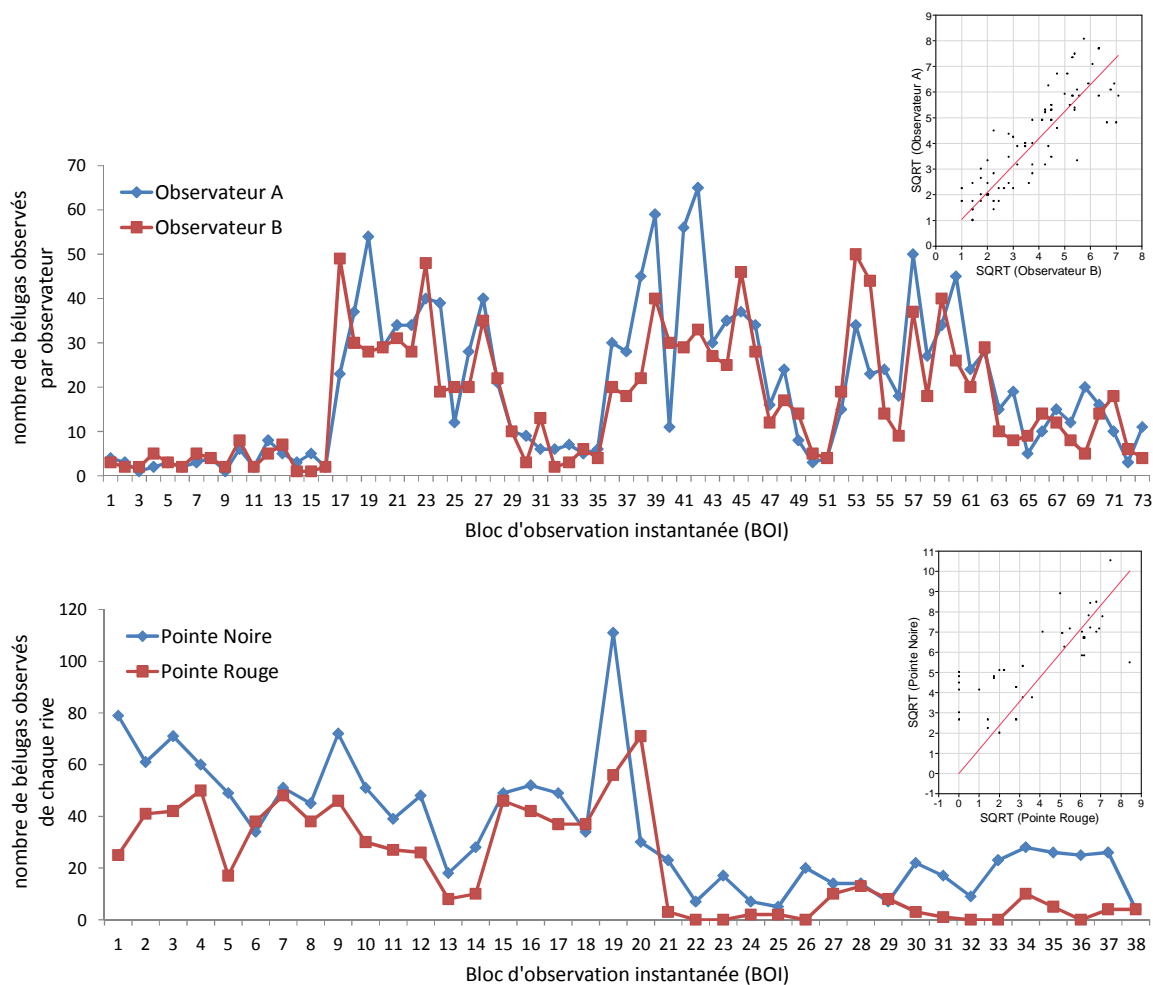


Figure 12 : Nombre de bélugas détectés à tous les BOI par chaque observateur lors des observations simultanées à partir de la même rive (en haut) et des deux rives opposées (en bas). Cartouche : relation entre les deux variables (en racine carrée) et droite de pente 1.

observés par BOI diffère légèrement entre les deux observateurs : 19,7 pour l'observateur A et 17 pour l'observateur B. Les écarts sont plus marqués lorsque les observations sont effectuées à partir des deux rives opposées, même en présence d'un nombre faible de bélugas. Le nombre moyen de bélugas observés par BOI de chaque rive diffère sensiblement entre les deux observateurs : 34,9 pour l'observateur de Pointe Noire et 21 pour l'observateur de Pointe Rouge.

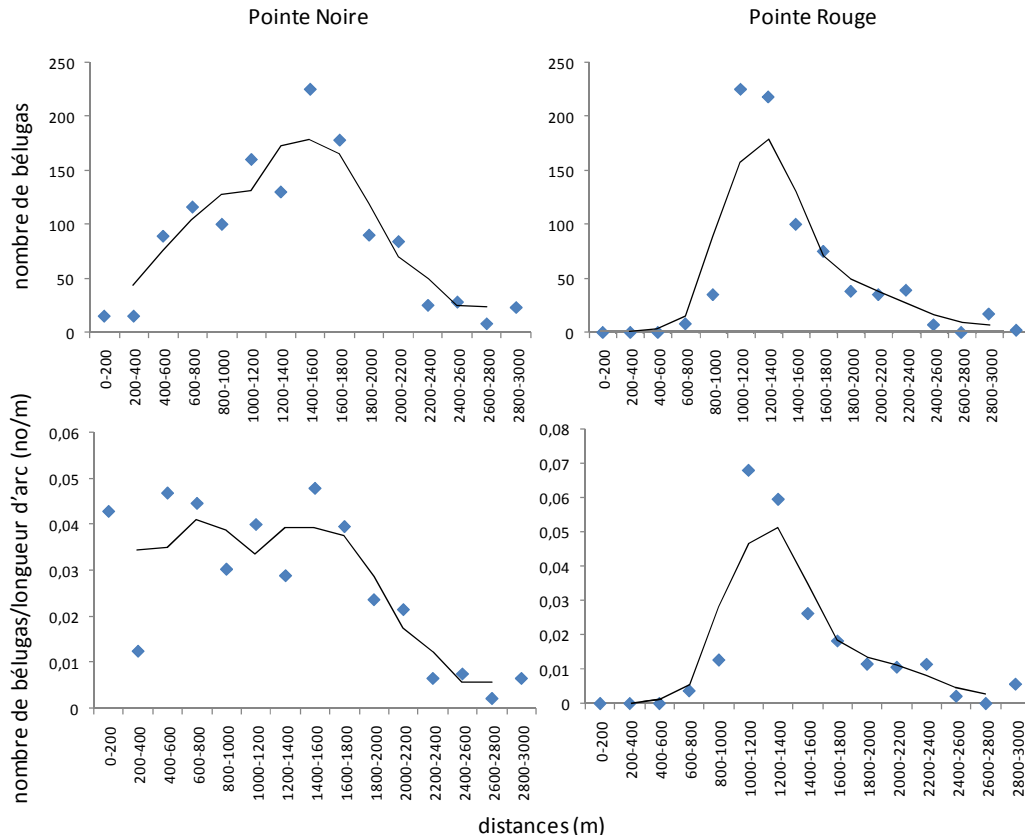


Figure 13 : Évolution du nombre de bélugas observés à partir des deux rives opposées en fonction de la distance de l'observateur (en haut). En bas, le nombre de bélugas a été divisé par la longueur de l'arc d'observation. Les lignes sont les moyennes mobiles sur 3 points.

L'analyse de la densité de bélugas en fonction de la distance de l'observateur a donné des résultats plutôt différents selon la rive à partir de laquelle les observations ont été effectuées. Pour les observations effectuées à partir de Pointe-Noire, le nombre de bélugas augmente de façon marquée jusqu'à la distance de 1600 m et diminue par la suite (figure 13). Par contre, en divisant le nombre de bélugas par la longueur de l'arc d'observation, on remarque que la densité de bélugas oscille autour de la même valeur jusqu'à 2000 m et diminue ensuite. En particulier, entre 0 et 2000 m, il n'y a pas de relation nette entre la densité de bélugas et la distance. Les observations effectuées à partir de Pointe Rouge indiquent une densité de bélugas nulle jusqu'à 600 m, une augmentation nette entre 1000 et 1400 m ainsi qu'une diminution progressive à partir de 1600 m (figure 13). La situation

reste pratiquement identique en divisant le nombre de bélugas par la longueur de l'arc d'observation.

L'analyse cartographique de la distribution des bélugas observés à partir des deux rives montre, en général, une bonne superposition des observations provenant des deux observateurs (figure 14). Les centroïdes des deux séries d'observation se retrouvent l'un à côté de l'autre, au centre du bassin. Les aires couvertes par les bélugas détectés à partir des deux rives sont pratiquement identiques. La dispersion des groupes est asymétrique, allongée dans l'axe du fjord. L'ellipse de dispersion des bélugas observés à partir de Pointe Noire est légèrement plus grande que celle des bélugas observés à partir de Pointe Rouge. L'observateur de Pointe-Noire semble mieux voir les bélugas du côté de la baie Sainte-Catherine, ce qui oriente légèrement son ellipse de ce côté.

Les tests de Wilcoxon, effectués sur les séries d'attributs de distribution spatiale des bélugas observés à tous les BOI (groupes de bélugas > 3) par les deux observateurs (X et Y du centroïde, angle de rotation de l'ellipse, longueur standard des axes X et Y), n'ont montré aucune différence significative entre les deux observateurs ($p > 0,31$, $n = 18$ paires).

Discussion et conclusion des tests

Les observations simultanées effectuées par les deux observateurs à partir de Pointe Noire montrent qu'au total le nombre de bélugas détectés ne varie pas de façon significative en fonction de l'observateur. Les classes d'âge sont échantillonnées de la même façon par les observateurs, sans qu'il y ait une différence significative, à l'exception de la classe d'âge « indéterminée ». Également, l'évaluation de l'activité des bélugas ne montre aucune différence significative entre les observateurs, mise à part la catégorie « indéterminée ». Autant pour l'âge que pour le type d'activité, la catégorie « indéterminée » est subjective à l'observateur, en fonction de son degré d'entraînement, et demeure toujours incertaine. Ceci pourrait expliquer une partie des différences notées, ce qu'un entraînement prolongé des observateurs pourrait éventuellement corriger.

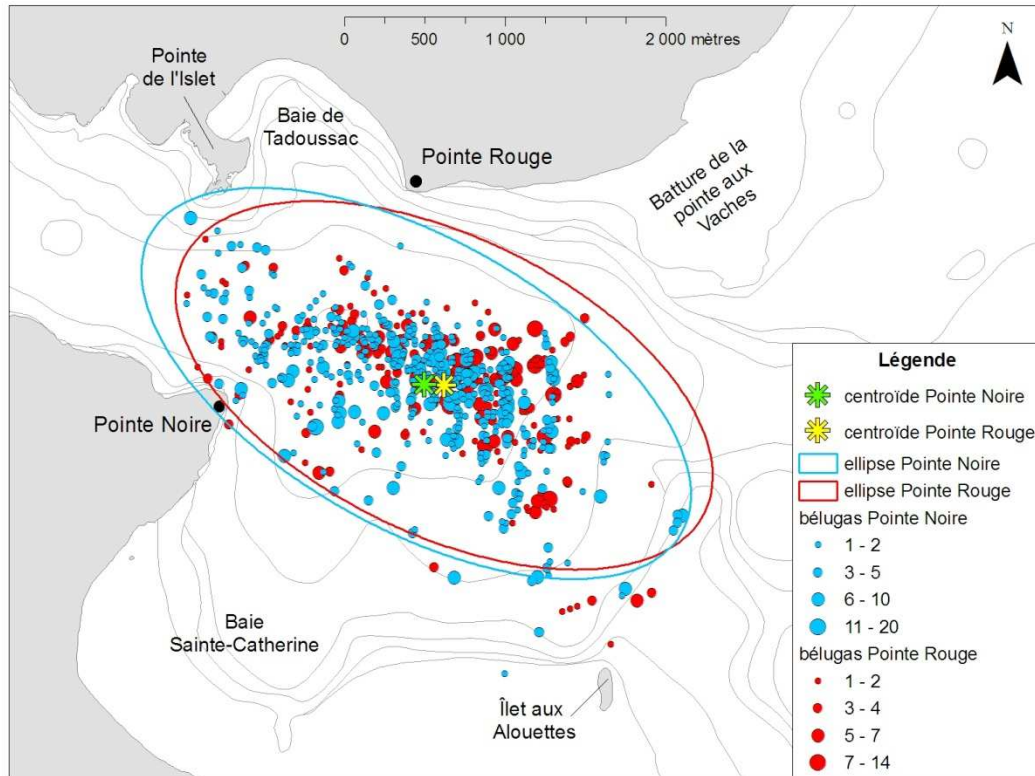


Figure 14 : Groupes de bélugas, centroïdes et ellipses de dispersion des groupes observés à partir des deux rives pour l'ensemble des 38 BOI comparés

Pour ce qui concerne le nombre de groupes observés, il faut considérer que le regroupement de plusieurs bélugas dans un même groupe dépend à la fois de la distance entre les bélugas et du pouvoir de résolution du télémètre et de la boussole, lequel diminue avec la distance. L'influence de la distance de l'observateur rend la comparaison d'une rive à l'autre difficile lorsque les groupes ne sont pas distribués uniformément dans l'aire d'étude. L'effet du jugement de l'observateur a pu être constaté par la comparaison depuis un même poste d'observation. Il semble en effet que l'un des deux observateurs tendait plus à regrouper les bélugas dans un même groupe, puisque les écarts entre les nombres totaux d'individus observés par les deux observateurs sont inférieurs aux écarts entre les nombres de groupes observés.

Les écarts entre le nombre de bélugas observés à partir de Pointe Noire et le nombre de bélugas détectés de Pointe Rouge sont non négligeables. Plusieurs facteurs peuvent être en cause. Premièrement, l'élévation du poste d'observation de Pointe Noire est supérieure (de plus de 12 m) à celle du poste de Pointe Rouge. Cela implique que l'observateur de Pointe-Noire a un angle de vision vertical plus grand que l'observateur de Pointe Rouge, lui accordant un meilleur pouvoir de résolution frontale (meilleure résolution angulaire sur le plan d'eau). Deuxièmement, le reflet du soleil sur l'eau peut influencer beaucoup sur les conditions de visibilité, en étant plus prononcé d'une rive à l'autre. L'échantillonnage simultané des deux rives a toujours été effectué en après-midi, lorsque le soleil se trouvait au sud-ouest des observateurs. Ceci implique que, dans des conditions de ciel dégagé, l'observateur de Pointe Rouge pouvait voir le reflet du soleil sur une portion de l'aire d'étude, étant donné qu'il observait en direction du secteur sud-ouest à sud-est. Au contraire, l'observateur de Pointe Noire, observant en direction du secteur nord à sud-est, n'avait jamais le reflet du soleil dans son champ de vision durant l'après-midi. Aussi, il faut tenir compte que les comparaisons ont eu lieu lorsqu'il y avait une abondance exceptionnelle de bélugas, en particulier lors des observations à partir des deux rives. En effet, les densités moyennes de bélugas observés pendant les deux tests de comparaison (19,7 et 34,9 individus/BOI détectés par l'observateur A) sont nettement supérieures à celles de la saison 2008 (5,3 individus/BOI) et du mois de septembre 2008 (12,1 individus/BOI). L'observateur à Pointe Noire semble avoir un avantage dans ces conditions, comme l'indique la comparaison des observations des deux rives où la droite de régression est en faveur de l'observateur de Pointe Noire (figure 12 bas, cartouche) contrairement aux observations depuis la même rive, où elle est égale à 1 sur toute l'étendue des valeurs de densité (figure 12 haut, cartouche). L'effet de l'éclairement du soleil et de la position des bélugas, défavorable à l'observateur B, est un autre facteur à prendre en compte, de même que la plus faible élévation du site de Pointe Rouge. Bien que la pente des densités entre les deux observateurs depuis les deux rives n'est pas égale à 1,0, elle ne diffère pas significativement de 1,0 (t de Student, $p > 0,05$).

Du point de vue de la qualité, les observations effectuées des deux rives sont très similaires, montrant un équilibre tant dans la structure d'âge que dans les types d'activité observés.

À l'intérieur de la zone d'étude, la distance des bélugas par rapport à l'observateur ne semble pas être un facteur qui influence la distribution globale des bélugas détectés. L'observateur de Pointe Rouge n'a jamais détecté des bélugas dans les premiers 600 m de son aire d'observation, tandis qu'il en observe le plus grand nombre entre 1000 et 1200 m. Au contraire, la densité de bélugas détectés par l'observateur de Pointe Noire demeure élevée dans les premiers 2000 m, sans présenter de tendance linéaire significative avec la distance. Ces résultats indiquent que la distribution des bélugas est asymétrique à l'intérieur de l'aire d'étude. Ceci a été confirmé par l'analyse cartographique, qui montre une forte concentration de bélugas au centre du bassin et une distribution plus dispersée de ceux-ci vers la baie Sainte-Catherine. Étant donné que les deux observateurs ont rapporté la même distribution spatiale des bélugas à l'intérieur du bassin externe du fjord, il est évident que la distance n'affecte pas la mesure de densité. Les relations en fonction de la distance sont liées à la distribution des bélugas par rapport à l'observateur.

En conclusion, les tests d'observations simultanées par deux observateurs ont globalement indiqué que la méthodologie de l'étude est efficace et non-biaisée. Les tests effectués avec deux observateurs à un même site ou à deux sites différents montrent que la quantité et la qualité des observations ne sont pas biaisées de façon significative par la capacité de détection de l'observateur, mais qu'en conditions de fortes abondances sa capacité est sous-optimale à Pointe Rouge par rapport à Pointe Noire. De plus, le test d'observations simultanées à partir des deux rives confirme que la distribution spatiale des bélugas détectés à l'intérieur du bassin externe du fjord n'est pas biaisée par l'emplacement du site d'observation. Le site de Pointe Noire offre cependant de meilleures conditions de visibilité que celui de Pointe Rouge en raison de son altitude supérieure et lors de l'après-midi où le reflet du soleil interfère moins qu'à Pointe Rouge. La fonction de densité vs

distance dépend de la localisation des bélugas dans le bassin par rapport au centre de distribution des animaux, et non de la distance de l'observateur.

3.1.2 Influence de la distance sur la détection de juvéniles et veaux

Les proportions de juvéniles et de veaux observées à chaque BOI dans l'ensemble des données (2003-2009) diminuent graduellement et de façon marquée avec la distance (-7,9 % et -2,0 % par km respectivement, $R^2 = 0,93$ et $0,81$ respectivement), contrairement à la proportion d'individus dont la classe d'âge n'a pas été déterminée, qui augmente nettement avec la distance (+7,4 % par km, $R^2 = 0,86$) (figure 15, haut). La proportion d'adultes augmente également avec la distance, mais de façon moins marquée (+2,5 % par km, $R^2 = 0,33$).

Ce résultat confirme que la distance affecte surtout la détection de juvéniles et de veaux. Il est donc probable que les individus de classe d'âge indéterminée soient majoritairement des juvéniles et des veaux que l'observateur a détecté mais qu'il n'a pas su classer avec certitude, et que la majorité des adultes ait été identifiée sans équivoque même à grande distance. Ceci est évident lorsqu'on recalcule les proportions des classes d'âge sans tenir compte de la classe « indéterminée » (dénominateur = nombre d'adultes, juvéniles et veaux), la proportion d'adultes augmente de façon marquée avec la distance (+9,8 % par km, $R^2 = 0,93$) et les proportions de juvéniles et de veaux diminuent toujours nettement (-7,8 % et -2,0 % par km respectivement, $R^2 = 0,92$ et $0,81$ respectivement) (figure 15, bas). La hausse de la proportion d'adultes aux plus grandes distances dériverait du fait que l'observateur n'a pas détecté tous les juvéniles ou veaux à ces distances, ce qui correspond à une baisse du dénominateur - par rapport à la réalité - dans le calcul des proportions.

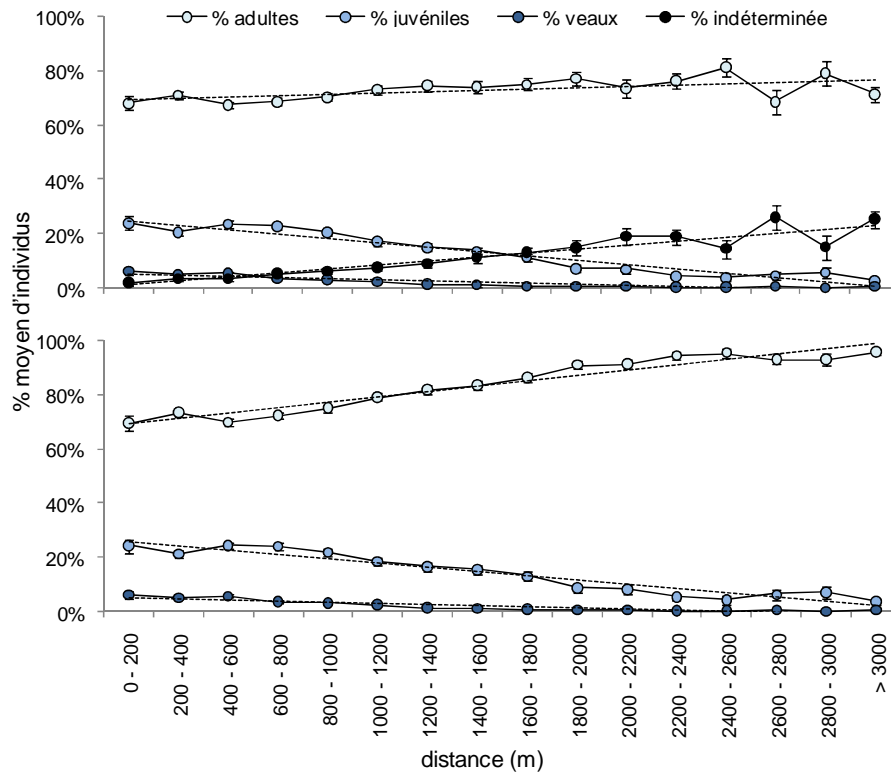


Figure 15 : Proportions moyennes des classes d'âge observées en fonction de la distance de l'observateur, incluant (en haut) et excluant (en bas) les individus dont la classe d'âge n'a pas été déterminée, avec intervalle de confiance à 95 % (IC 95 %), pour l'ensemble des données.

La variation des proportions des classes d'âge en fonction de la distance de l'observateur par rapport aux proportions observées à la distance minimale (0-200 m), pour chaque année, est illustrée à la figure 16. On voit que dans les premières centaines de mètres la variation des proportions fluctue autour de la valeur initiale (0 %) sans une tendance claire, alors qu'à partir d'une certaine distance les valeurs montrent une tendance plus claire à la hausse (adultes) ou à la baisse (juvéniles et veaux), s'éloignant de la valeur initiale. La seule exception est constituée par la série de 2003, où on observe un retour à la valeur initiale à de plus grandes distances.

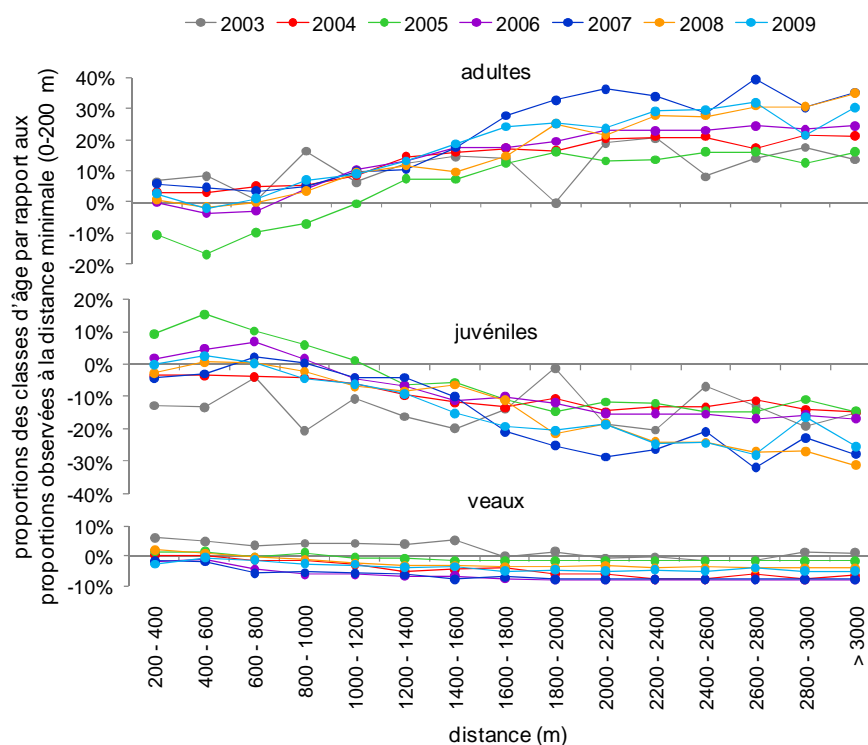


Figure 16 : Différence entre les proportions des classes d'âge (adultes, juvéniles et veaux) observées à chaque tranche de distance de 200 m et les proportions observées à la distance minimale (0-200 m), pour chaque année.

Le test de Wilcoxon comparant les séries de proportions de classes d'âge observées à différentes distances à chaque BOI à la distance minimale (0-200 m), pour chaque année, ne révèle aucune différence significative entre les proportions moyennes jusqu'à 600 m de distance (tableau 4). À partir de 600 m, les proportions moyennes observées commencent à différer significativement des proportions observées à la distance minimale pour certaines classes d'âge à certaines années. Plus l'écart entre les distances augmente, plus ces différences significatives deviennent fréquentes. Au-delà de 1600 m, toutes les proportions moyennes des classes d'âge diffèrent de celles observées à la distance minimale, à chaque année ($p < 0,05$), sauf en 2003. Pour l'année 2003, aucune différence significative des proportions moyennes des classes d'âge en fonction de la distance n'a été détectée. Ce manque de signification est probablement dû au plus petit nombre de groupes

Tableau 4 : Probabilités du test de Wilcoxon comparant les séries de proportions de classes d'âge observées à différentes distances à chaque BOI à la distance minimale (0-200 m), pour chaque année.

0 - 200 vs distance	classe d'âge	année d'échantillonnage						
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
200 - 400	adultes	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	juvéniles	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	veaux	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
400 - 600	adultes	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	juvéniles	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	veaux	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
600 - 800	adultes	n.s.	$p < 0,05$	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	juvéniles	n.s.	n.s.	n.s.	$p = 0,02$	n.s.	n.s.	n.s.
	veaux	n.s.	n.s.	n.s.	$p < 0,01$	$p < 0,01$	n.s.	n.s.
800 - 1000	adultes	n.s.	$p = 0,03$	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	juvéniles	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	veaux	n.s.	$p < 0,05$	n.s.	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p = 0,01$	n.s.
1000 - 1200	adultes	n.s.	$p < 0,01$	n.s.	$p < 0,01$	$p = 0,01$	$p = 0,01$	$p = 0,01$
	juvéniles	n.s.	$p = 0,01$	n.s.	n.s.	n.s.	$p = 0,04$	n.s.
	veaux	n.s.	$p = 0,01$	n.s.	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p = 0,01$
1200 - 1400	adultes	n.s.	$p < 0,01$	n.s.	$p < 0,01$	$p = 0,02$	$p < 0,01$	$p < 0,01$
	juvéniles	n.s.	$p < 0,01$	n.s.	$p = 0,04$	n.s.	$p < 0,01$	$p = 0,02$
	veaux	n.s.	$p < 0,01$	n.s.	$p < 0,01$	$p = 0,01$	$p < 0,01$	$p = 0,01$
1400 - 1600	adultes	n.s.	$p < 0,01$	$p = 0,05$	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p = 0,01$	$p < 0,01$
	juvéniles	n.s.	$p < 0,01$	n.s.	$p < 0,01$	$p = 0,04$	n.s.	$p < 0,01$
	veaux	n.s.	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,01$
1600 - 1800	adultes	n.s.	$p < 0,01$	$p = 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,01$
	juvéniles	n.s.	$p < 0,01$	$p = 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,01$
	veaux	n.s.	$p = 0,01$	$p < 0,05$	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,01$	$p < 0,01$

n.s. = non significatif ($p > 0,05$)

observés en 2003 ($n=634$) comparativement aux autres années ($1996 < n < 3865$), et donc à la plus forte incertitude pour la série de 2003.

3.2 OCCUPATION SPATIALE DE L'EMBOUCHURE DU SAGUENAY PAR LES BELUGAS

La distribution spatiale de l'ensemble des observations de bélugas est présentée à la figure 17. Globalement, au cours des 7 années d'observation, les bélugas ont occupé l'ensemble du bassin d'entrée de l'embouchure du Saguenay, étant toutefois plus concentrés dans les profondeurs supérieures à 50 m et notamment au large de Pointe Noire, au centre du bassin et le long de l'axe longitudinal du Saguenay. Seuls quelques quadrats situés en bordure de l'aire d'étude ou sur des battures ne contiennent aucune observation. Les variations de la distribution spatiale des bélugas en fonction du cycle semi-diurne de marée et de l'année sont traitées à la section 3.5.2 et à l'annexe III.

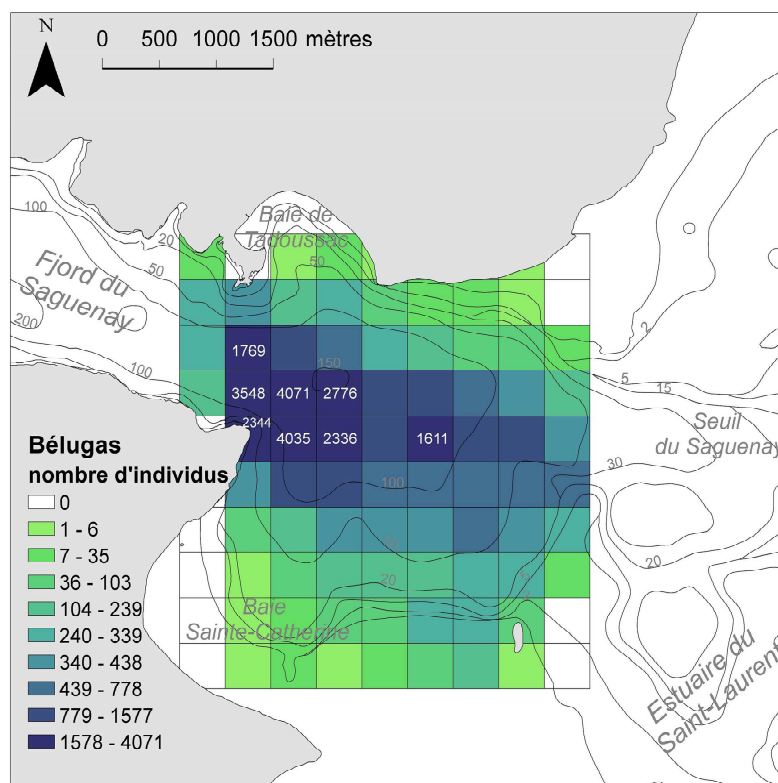


Figure 17 : Distribution spatiale de l'ensemble des observations de bélugas (nombre d'individus par quadrat) de 2003 à 2009. Les densités sont classées par déciles. Le nombre d'individus est indiqué en blanc dans les quadrats de densité maximale.

3.3 OCCURRENCE ET ABONDANCE DE BELUGAS

3.3.1 Interannuelle

La présence de bélugas dans l'aire d'étude a été notée en moyenne dans 83 % des jours d'observation entre mai et septembre et dans 84 % entre juin et août pour l'ensemble des années. En 2003 les bélugas ont été observés dans 50 % des jours, alors que dans les autres années ils ont été observés entre 76 % et 100 % des jours (juin à août) (tableau 5). L'occurrence (% de périodes de 30 minutes avec présence de bélugas) et l'abondance (nombre moyen d'individus par BOI) varient sensiblement d'une année à l'autre (tableau 5 et figure 18). La variation interannuelle de l'abondance de bélugas est significative (KW, $p < 0,0001$). Les années 2004-2006 ont des occurrences et des abondances élevées et similaires, alors qu'on remarque une légère diminution pour les années subséquentes. L'année 2003 détonne par rapport aux autres, avec les plus faibles valeurs d'occurrence et d'abondance. Les valeurs qu'on obtient en moyennant les séries de moyennes annuelles sont 51,4 % ($\pm 14,9$ %) pour l'occurrence et 3,5 ($\pm 0,9$) individus/BOI pour l'abondance. L'abondance moyenne ne diffère pas entre des paires 2003-2008, 2006-2007, 2007-2009 et 2008-2009 (test de Tukey), alors que pour toutes les autres combinaisons d'années elle diffère significativement (tableau 5).

3.3.2 Saisonnière

Dans une même année, les valeurs d'occurrence et d'abondance mensuelles de bélugas s'écartent de 1 % à 108 % et de 13 % à 388 % respectivement de leurs moyennes annuelles (figures 19 et 20). Leur évolution saisonnière est variable selon l'année. En 2003, 2008 et 2009, l'occurrence augmente progressivement au cours de l'été, tandis qu'en 2004 et 2006 elle diminue. En 2005 elle atteint son maximum au mois de juillet, alors qu'en juillet 2007 elle est légèrement inférieure aux mois adjacents. En juillet 2005 l'occurrence

Tableau 5 : Occurrence et abondance annuelle moyenne des bélugas de 2003 à 2009 (juin, juillet et août uniquement), effort d'échantillonnage et similarité d'abondance.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
% de jours avec présence de bélugas	50%	92%	97%	100%	93%	76%	87%
occurrence	15,4%	56,3%	77,4%	68,4%	54,2%	39,8%	48,5%
abondance moyenne	2,0	5,3	4,6	3,7	3,4	2,5	3,0
± intervalle de confiance	± 0,3	± 0,4	± 0,3	± 0,2	± 0,4	± 0,3	± 0,3
périodes de 30 minutes d'observation	561	607	342	488	409	576	722
BOI effectués	1600	2051	1438	2023	1513	1804	2333
groupes de similitude*	A	B	C	D	D,E	A,F	E,F

*Les années identifiées par la même lettre ne sont pas significativement différentes (test de Tukey)

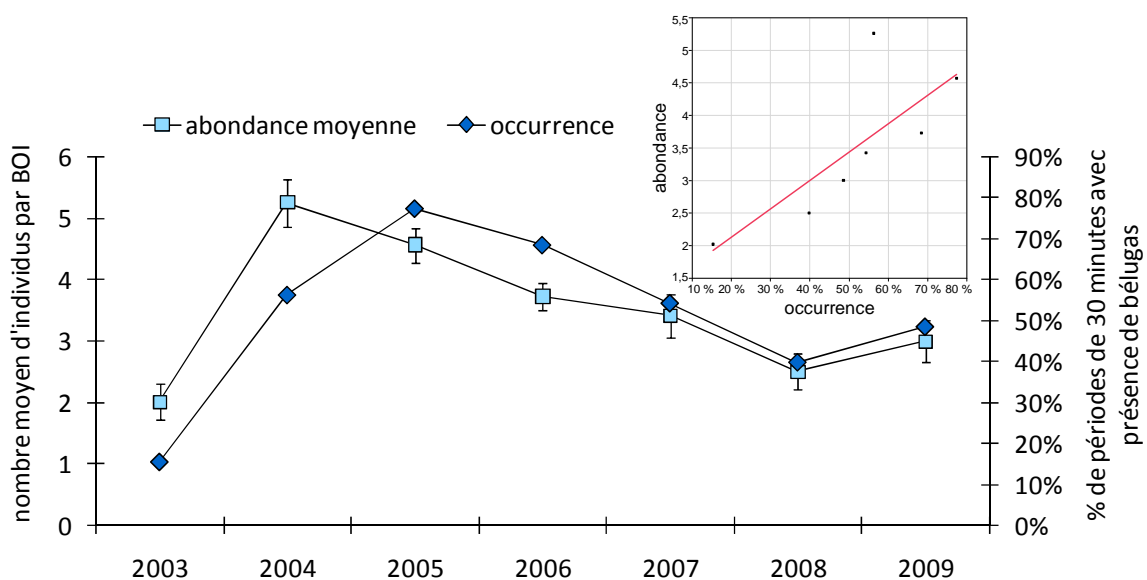


Figure 18 : Évolution interannuelle de l'occurrence et de l'abondance moyenne de bélugas, avec IC 95 %, de 2003 à 2009 (juin, juillet et août uniquement).

atteint un sommet de 88 % et en 2008 elle fait un saut de 42 % à 77 % d'août à septembre.

L'abondance mensuelle moyenne de bélugas n'évolue pas toujours de la même façon que l'occurrence. En 2003, 2005 et 2006, elle atteint son maximum en juillet, tandis qu'en juillet 2007 elle est à son minimum. Le mois de juin n'est jamais le plus abondant, sauf en 2004, où le nombre moyen de bélugas atteint un sommet de 8,0 individus par BOI. En 2008 l'abondance moyenne de bélugas augmente progressivement jusqu'à 3,0 individus par BOI en août, puis atteint une valeur record 12,2 individus par BOI en septembre. En 2009, l'abondance est plus importante en août et septembre. Il est à noter que l'effort d'échantillonnage est moins important (< 10 jours) dans les mois de mai 2004, juin 2005, 2006, 2007, 2008 et septembre 2009 (voir tableau 1).

La variation de l'abondance d'un mois à l'autre est significative dans toutes les années (KW, $p < 0,02$) sauf 2007, où la variation n'est jamais significative. L'occurrence et l'abondance moyenne de bélugas varient également d'une semaine à l'autre à chaque saison (voir annexe I). Notons qu'en 2008 l'abondance moyenne de bélugas dans la semaine du 15 au 21 septembre a atteint le maximum de 23,7 bélugas par BOI de toute la série de données. Lors de cette semaine, ainsi que dans la semaine du 22 au 28 août 2005, l'occurrence moyenne était de 100 %. Au contraire, l'occurrence et l'abondance de bélugas étaient nulles dans les semaines du 16 au 22 juin 2008 et du 3 au 10 mai 2009. Les années présentant des fluctuations hebdomadaires d'occurrence similaires sont 2008 et 2009 (ρ de Spearman = 0,70, $p = 0,005$), 2003 et 2009 (ρ de Spearman = 0,74, $p = 0,006$) ainsi que 2005 et 2007 (ρ de Spearman = 0,70, $p = 0,025$). Une corrélation significative élevée a également été trouvée entre l'évolution hebdomadaire des abondances de bélugas des saisons 2004 et 2005 (ρ de Spearman = 0,79, $p = 0,006$).

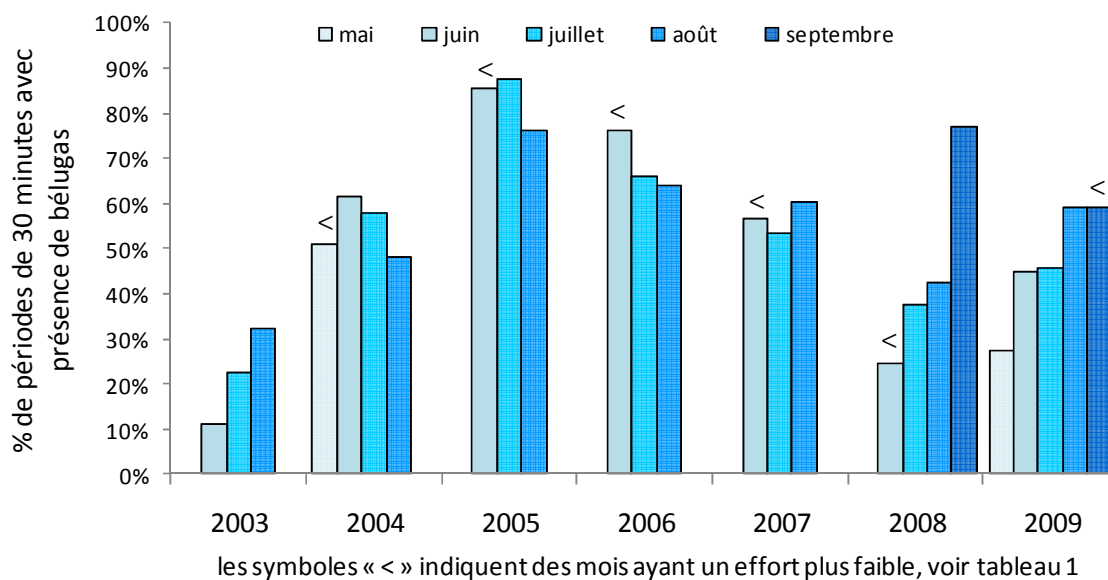


Figure 19 : Occurrence mensuelle moyenne de bélugas de 2003 à 2009.

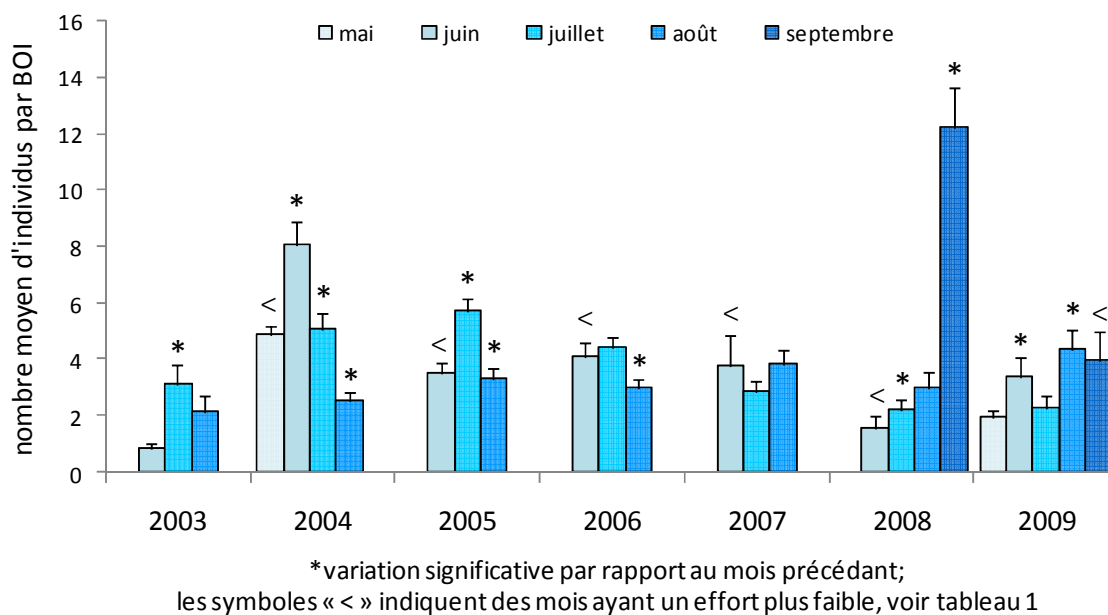


Figure 20 : Abondance mensuelle moyenne de bélugas par BOI de 2003 à 2009, avec IC 95 %.

3.3.3 Circadienne

L'occurrence moyenne de bélugas au cours de la journée calculée pour l'ensemble des années (2003 à 2009) est autour de 50 % pendant la matinée. Elle augmente en début d'après-midi jusqu'à un maximum (63 %) à 14h et, ensuite, elle diminue progressivement jusqu'à un minimum (39 %) en fin de journée (figure 21). Ce patron circadien général est cependant très variable d'une année à l'autre, bien que dans plusieurs cas l'occurrence décroît en fin de journée après 14h. Des corrélations significatives entre les séries d'occurrence moyenne par plage horaire ont été notées entre les années 2008 et 2009 (ρ de Spearman = 0,89) ainsi que 2004 et 2005 (ρ de Spearman = 0,58, tableau 6).

La figure 22 illustre l'évolution de l'abondance moyenne de bélugas par BOI au cours du jour à chaque année, à la fois pour les valeurs observées et les valeurs corrigées pour la phase de marée. En général, les valeurs corrigées pour la marée sont très similaires aux valeurs brutes observées, avec des variations plus notables en 2003 et 2008. La variation de l'abondance (valeurs réelles et valeurs corrigées) en fonction de l'heure du jour est significative à chaque année et dans l'ensemble des données (KW, $p < 0,0001$).

Pour l'ensemble des données, l'abondance moyenne de bélugas présente généralement un patron quotidien horaire similaire à l'occurrence. On observe peu de variation au cours de la matinée, avec des valeurs proches de 4,0 individus par BOI, puis une augmentation en début d'après-midi, avec un pic à 14h autour de 5,0 individus par BOI pour les deux séries et, ensuite, une diminution progressive jusqu'au soir (1,4 individus par BOI pour les deux séries à 19h). Cependant, à chaque année les patrons circadiens d'abondance ne correspondent pas toujours aux patrons d'occurrence. Notons qu'en 2003 et 2008 il y a un pic d'abondance très prononcé vers 13h et une diminution prononcée jusqu'en fin de journée. Ce pic est décalé (à 16h en 2003 et à 14h en 2008) pour les valeurs corrigées pour la phase de marée.

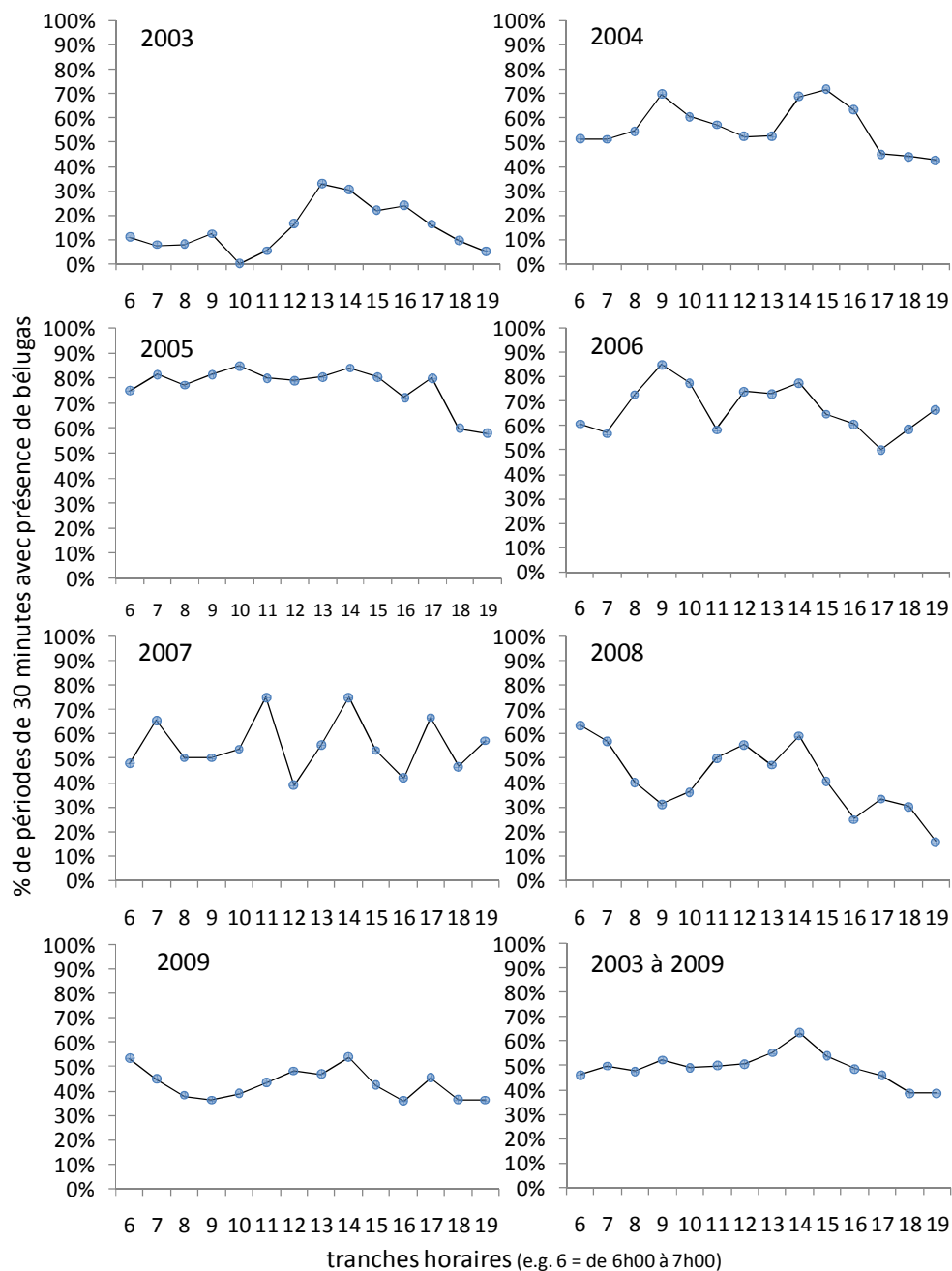


Figure 21 : Occurrence horaire moyenne de bélugas de 2003 à 2009.

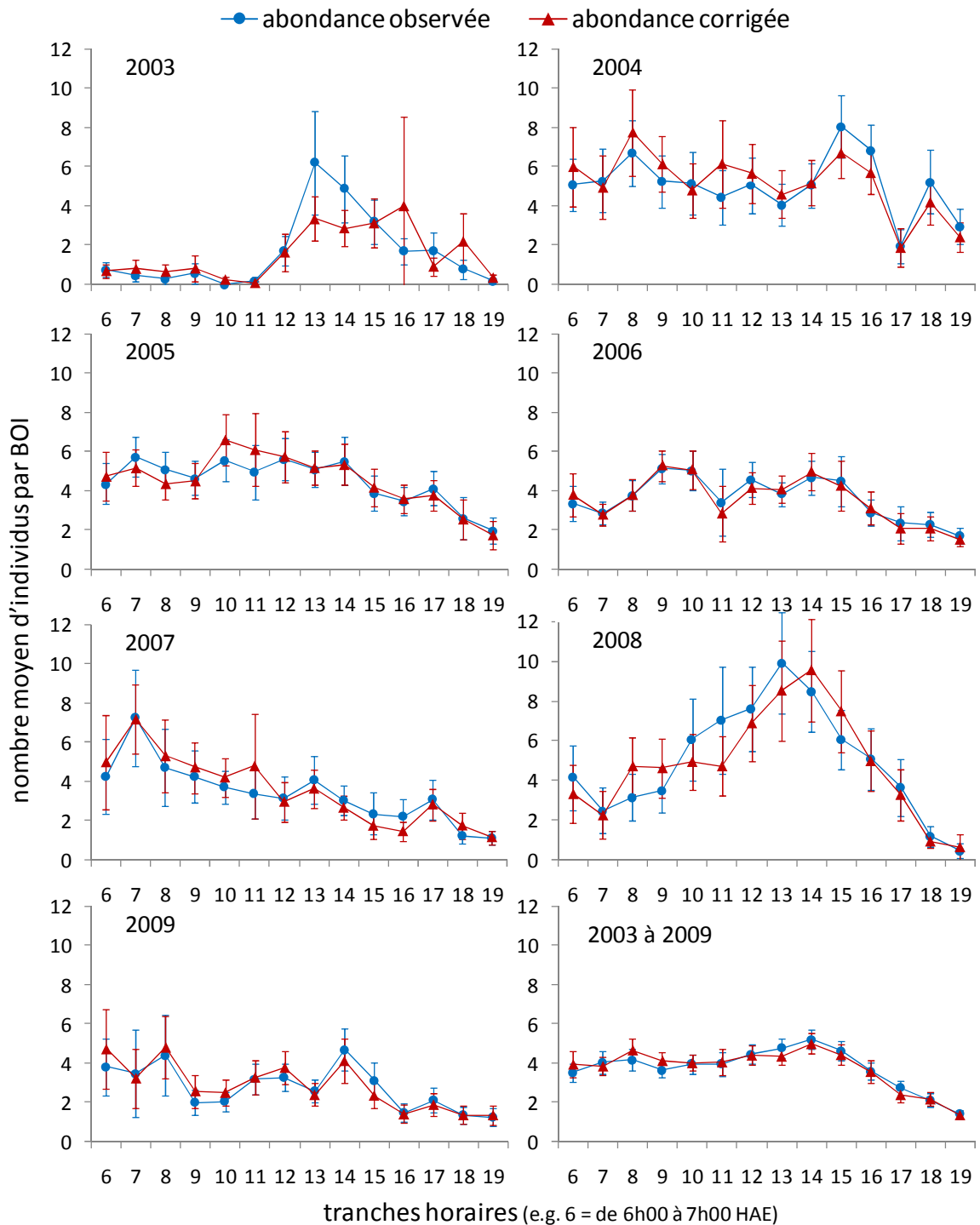


Figure 22 : Abondance horaire moyenne de bélugas par BOI, observée et corrigée pour la phase de marée, de 2003 à 2009, avec IC 95 %.

Tableau 6 : Valeurs du coefficient de Spearman (ρ) pour les corrélations significatives ($\alpha = 0,05$) entre les séries d'occurrence et d'abondance horaires moyennes (entre 6h et 19h HAE) de chaque année.

ρ de Spearman significatifs		2009			2008			2007			2006			2005		
		occurrence	abondance	abondance*	occurrence	abondance	abondance*	occurrence	abondance	abondance*	occurrence	abondance	abondance*	occurrence	abondance	abondance*
2004	occurrence	n.s.			n.s.			n.s.			n.s.			0,58		
	abondance		n.s.			n.s.			n.s.			n.s.			n.s.	
	abondance*			0,60			n.s.			n.s.			n.s.			n.s.
2005	occurrence	n.s.			n.s.			n.s.			n.s.					
	abondance		0,64			n.s.			0,74			0,56				
	abondance*			0,64			n.s.			0,58			0,57			
2006	occurrence	n.s.			n.s.			n.s.								
	abondance		n.s.			0,63			n.s.							
	abondance*			n.s.			0,69			n.s.						
2007	occurrence	n.s.			n.s.											
	abondance		0,57			n.s.										
	abondance*			0,81			n.s.									
2008	occurrence	0,89														
	abondance		n.s.													
	abondance*			n.s.												

*corrigée pour la phase de marée ; n.s.= non significatif.

Le test de Spearman a mis en évidence des corrélations significatives élevées entre les séries d'abondance horaire moyenne des années 2005 et 2006, 2005 et 2007, 2005 et 2009, 2006 et 2008 ainsi que 2007 et 2009 (tableau 6). Une corrélation significative a également été trouvée entre les années 2004 et 2009 pour la série d'abondance corrigée pour la marée.

La figure 23 illustre la variance des séries d'abondance moyenne de bélugas par BOI selon différentes échelles temporelles (année, mois, semaine, jour, heure). On peut observer que la variance est le plus élevée (47,7) à la plus petite échelle temporelle de la mesure (i.e. heure) et qu'elle diminue notablement plus l'échelle temporelle de la mesure est grande, atteignant sa plus petite valeur (1,3) à l'échelle annuelle. Ainsi, des mesures ponctuelles

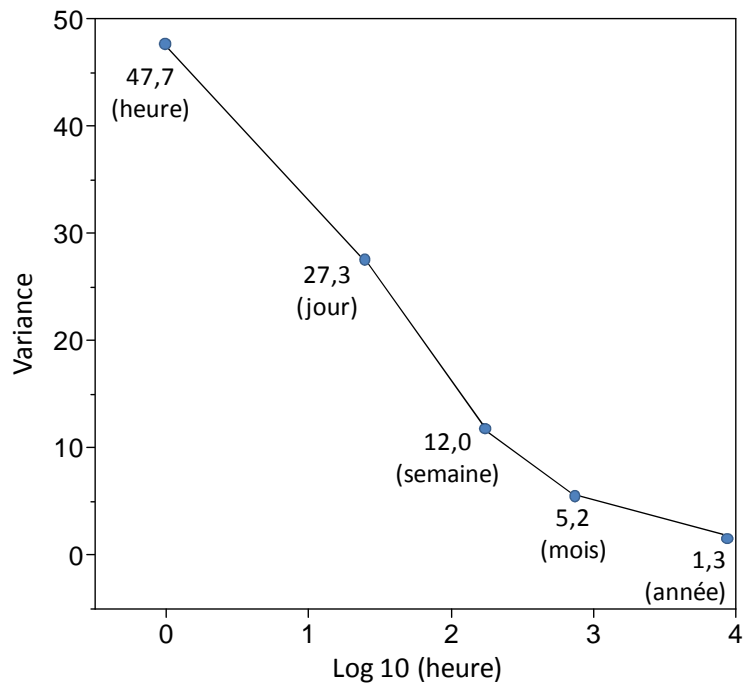


Figure 23 : Variance de l'abondance moyenne de bélugas par BOI selon les différentes échelles temporelles (heure, jour, semaine, mois, année) exprimées en \log_{10} (heure) pour l'ensemble des données (2003 à 2009).

(i.e. horaires) seront 37 ($47,7 / 1,3$) fois plus variables que des mesures de la moyenne annuelle, ou 4 ($47,7 / 12$) fois plus que des mesures de la moyenne hebdomadaire. Ces informations sont requises pour déterminer l'incertitude et la signification des estimés d'abondance effectués à différentes échelles, et leur comparaison. Pour obtenir une incertitude de ± 1 individu (IC 95 %) il faudrait un échantillon aléatoire de 5 moyennes annuelles, 20 moyennes mensuelles, 46 moyennes hebdomadaires, 105 moyennes journalières et 183 moyennes horaires.

3.4 CARACTERISTIQUES DES GROUPES ET DES TROUPEAUX DE BELUGAS

3.4.1 Taille des groupes et des troupes

De 2003 à 2009, la taille des groupes a varié entre 1 et 20 individus (des groupes de 30 et 70 ont été observés une seule fois chacun et ne sont pas représentés dans la figure 24). La taille moyenne des groupes a été de 2,6 ($\pm 0,04$) individus (nombre de groupes = 19 004). La fréquence d'occurrence des groupes est inversement proportionnelle à leur taille. En moyenne, 45% des groupes sont composés de 1 individu, 23% de 2 individus et 11% de 3 individus. Les proportions sont plutôt constantes d'une année à l'autre, sauf pour les individus isolés, qui sont moins fréquents en 2003 et 2008 comparativement aux autres années, alors qu'ils sont particulièrement abondants en 2005 et 2006. À l'inverse, les groupes de 6 à 10 individus sont plus abondants en 2003 et 2008 alors qu'ils le sont moins en 2005 et 2006. En 2003, les groupes de 11 à 15 individus sont également plus importants qu'aux autres années.

La taille moyenne des troupes⁸ observés (nombre moyen d'individus observés en même temps dans l'aire d'étude, excluant les observations nulles) en juin, juillet et août est de $7,7 \pm 1,09$ individus (moyenne des valeurs annuelles). Les valeurs varient significativement (KW, $p < 0,0001$) d'une année à l'autre (tableau 7 et figure 25). En 2003 et 2004, la taille moyenne des troupes est plus grande (9,8 et 9,7 individus par BOI), elle diminue nettement en 2005 et 2006 (6,4 et 6,3 individus par BOI), puis ré-augmente jusqu'à 2008 (7,6 individus par BOI) pour diminuer à nouveau en 2009 (6,9 individus par BOI). Le test de comparaison multiple non paramétrique (test de Dunn) indique qu'en 2003 et 2004 la taille moyenne des troupes est similaire, alors qu'elle diffère largement des moyennes des autres années, sauf 2008. Les moyennes diffèrent également entre 2005 et 2009.

⁸ Les tailles dans cette section sont celles des individus visibles en surface, sans corrections pour les individus submergés (voir le chapitre 4 *Discussion*)

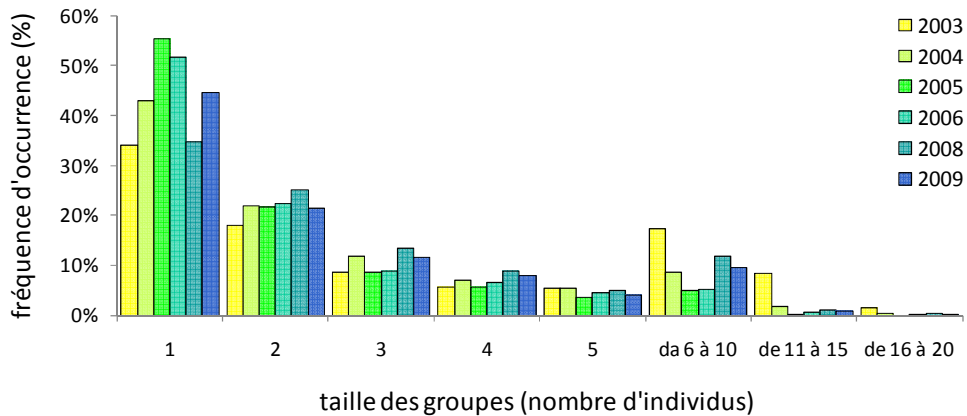


Figure 24 : Fréquence d'occurrence des tailles des groupes observés à chaque année (2003 à 2009).

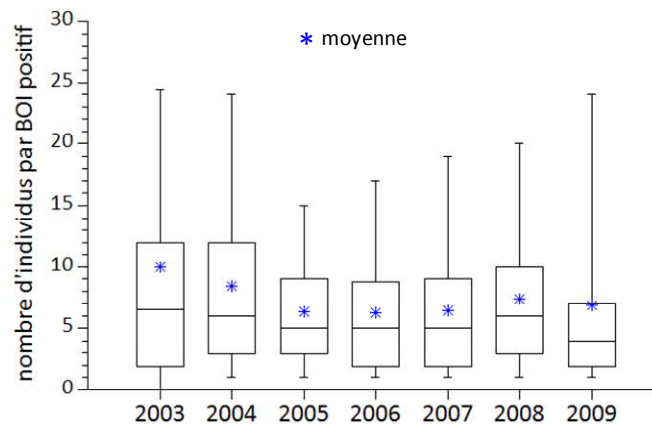


Figure 25 : Boîtes à moustaches représentant la distribution des tailles de troupeaux observées de juin à août inclusivement à chaque année et leurs moyennes (valeurs extrêmes non illustrées).

En général, la similitude entre les années est ordonnée selon le gradient d'abondance, à l'exception de 2008. Le nombre maximal d'individus observés dans un même BOI varie entre 43 (en 2008) et 86 (en 2009). La taille des troupeaux observés en mai et septembre est présentée séparément au tableau 8. La taille moyenne des troupeaux est très élevée en septembre 2008 (18,8 individus par BOI), tout comme le nombre maximal d'individus observés dans un même BOI (81). Les valeurs sont également grandes en mai 2004 et septembre 2009, alors qu'elles sont plus petites en mai 2009.

Tableau 7 : Taille moyenne des troupeaux (nombre d'individus ≥ 1) observés en surface en juin, juillet et août 2003 à 2009 et statistiques descriptives.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
taille moyenne des troupeaux	9,8	9,7	6,4	6,3	7,2	7,6	6,9
± intervalle de confiance (95%)	± 1,2	± 0,6	± 0,3	± 0,3	± 0,6	± 0,7	± 0,7
nombre maximal d'individus observés par BOI	74	65	63	47	80	43	86
nombre total d'individus	3039	10195	6569	7540	5152	3130	4707
nombre total de BOI avec présence de bélugas	311	1053	1021	1203	711	412	684
groupes de similitude*	A	A	B	B,C	B,C	A,B	C

*Les années identifiées par la même lettre ne sont pas significativement différentes (test de Dunn).

Tableau 8 : Taille moyenne des troupeaux (nombre d'individus ≥ 1) observés en surface en mai et septembre et statistiques descriptives.

	mai 2004	septembre 2008	mai 2009	septembre 2009
taille moyenne des troupeaux	10,1	18,8	6,5	8,2
± intervalle de confiance (95%)	± 2,6	± 1,8	± 0,6	± 1,8
nombre maximal d'individus observés par BOI	57	81	26	56
nombre total d'individus	577	6503	1205	640
nombre total de BOI avec présence de bélugas	57	346	184	78

3.4.2 Composition des troupeaux par classes d'âge

En moyenne, entre juin et août, 70,0 % des individus observés sont des adultes, 23,8 % sont des juvéniles et 6,2 % sont des veaux (tableau 9 et figure 26). On remarque de légères variations interannuelles (IC 95 % \leq 4,2 %) mais significatives (KW, $p < 0,01$). On observe un fort gain du nombre d'individus de 2003 à 2004 dans toutes les classes, particulièrement les veaux (+ 220 %). L'année 2004 se démarque pour sa plus forte proportion et son plus grand nombre de veaux et d'adultes de toutes les années, et sa proportion de juvéniles est la plus petite. Les années 2005 et 2009 se distinguent par les plus petites proportions de veaux de toutes les années, 2009 correspondant également au plus petit nombre de veaux. Le nombre moyen d'adultes diminue constamment de 2004 à 2008, alors que le nombre de juvéniles fluctue d'une année à l'autre et que le nombre de veaux diminue constamment de 2006 à 2009. L'année 2007 se distingue par la plus petite proportion d'adultes et la plus grande proportion de juvéniles de toutes les années.

Le nombre et la proportion d'adultes, de juvéniles et de veaux par BOI varient significativement en fonction du mois (KW, $p < 0,0001$). En moyenne, le nombre d'adultes est stable de mai à juillet et baisse légèrement en août (figure 27). Tous les effectifs augmentent en septembre, particulièrement les juvéniles, atteignant la plus grande proportion (36,5 %) de tous les mois, alors que la proportion d'adultes est à son plus bas. Le nombre de veaux est presque nul en mai, puis augmente en juin, baisse en juillet et augmente à nouveau en août et septembre. La proportion de veaux suit la même évolution que le nombre, sauf en septembre où elle diminue en raison de l'augmentation plus marquée du nombre de juvéniles. Le nombre et la proportion de juvéniles évoluent de mai à août de façon opposée aux veaux, avec des valeurs faibles en juin.

À l'intérieur d'une même année, le nombre et la proportion d'individus par classe d'âge varient significativement d'un mois à l'autre (KW, $p \leq 0,04$) sauf pour les juvéniles en 2006 et 2009 et la proportion de chaque classe d'âge en 2003.

Tableau 9 : Composition moyenne des troupeaux de bélugas observés à chaque BOI de 2003 à 2009 (de juin à août) selon la classe d'âge et moyenne des valeurs annuelles.

		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Moyenne ± intervalle de confiance*
% moyen par BOI	adultes	73,2%	75,7%	68,3%	72,6%	61,9%	66,8%	71,6%	70,0% ± 3,5%
	juvéniles	19,4%	15,2%	28,6%	19,7%	30,3%	27,6%	25,4%	23,8% ± 4,2%
	veaux	7,3%	9,1%	3,0%	7,7%	7,7%	5,6%	3,0%	6,2% ± 1,8%
nombre moyen par BOI	adultes	1,48	3,97	3,12	2,70	2,11	1,67	2,15	2,46 ± 0,65
	juvéniles	0,39	0,80	1,31	0,74	1,04	0,69	0,76	0,82 ± 0,21
	veaux	0,15	0,48	0,14	0,29	0,26	0,14	0,09	0,22 ± 0,10

*calculé sur la série des moyennes annuelles.

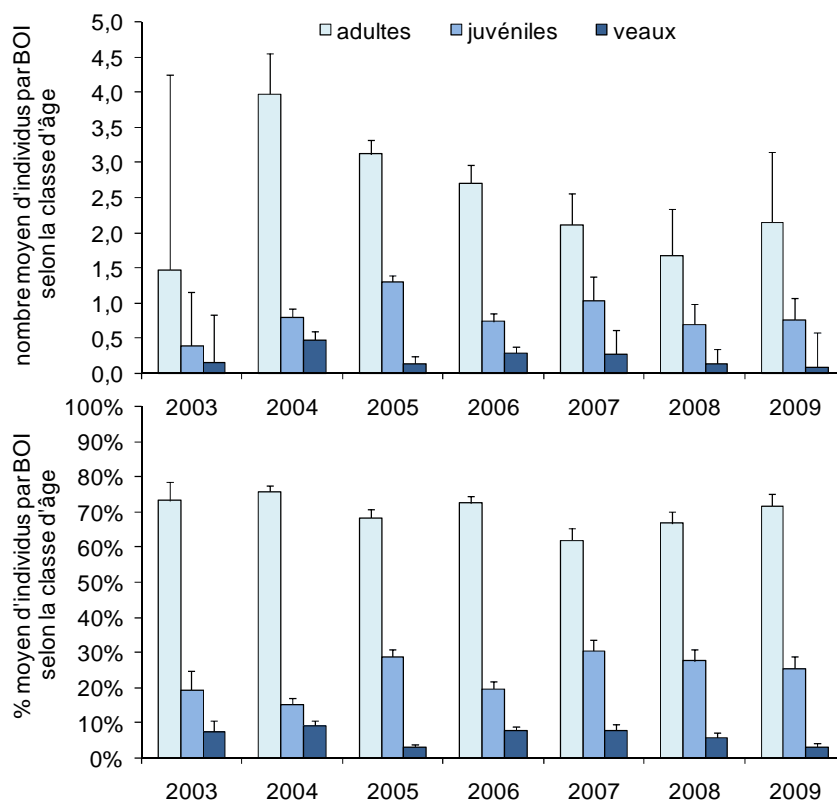


Figure 26 : Proportion et abondance moyennes de bélugas par BOI selon la classe d'âge pour chaque année de 2003 à 2009 (de juin à août), avec borne supérieure de l'IC 95 %.

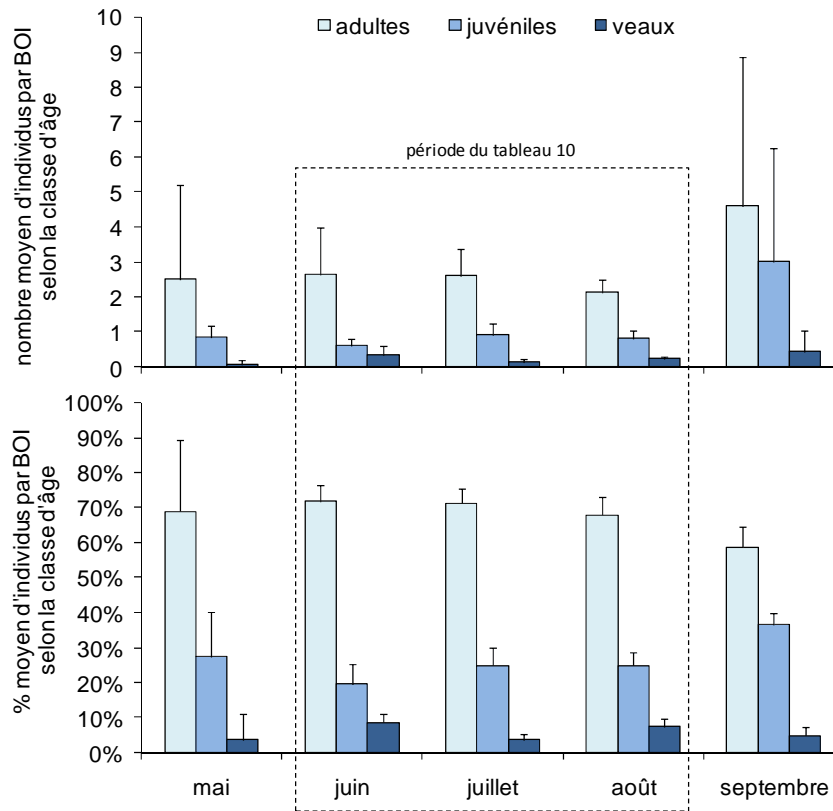


Figure 27 : Proportion et abondance moyennes de bélugas par BOI selon la classe d'âge pour chaque mois (moyenne des données mensuelles de 2003 à 2009), avec borne supérieure de l'IC 95 %.

Le patron moyen de variation mensuelle observé sur l'ensemble des données ne correspond pas toujours au patron observé à chaque année (voir annexe II). Cependant, notons que la proportion de veaux observés diminue toujours de juin à juillet et cette variation est significative à chaque année (test de Wilcoxon, $p < 0,002$) sauf en 2003 et 2008. Rappelons que l'effort d'échantillonnage est plus petit aux mois de mai 2004, juin 2005 à 2008 et septembre 2009 (voir tableau 1).

3.4.3 Activité et orientation des groupes

La figure 28 illustre la proportion moyenne des activités observées chez les bélugas pour chaque année et pour l'ensemble des données de 2004 à 2009. L'année 2003 n'est pas présentée puisque la variable « alimentation » n'avait pas encore été introduite dans la méthodologie.

En général, la proportion d'individus en déplacement est légèrement supérieure à celle d'individus en alimentation ou surplace (52 % vs 48 %). La proportion varie d'une année à l'autre de façon significative (KW, $p < 0,0001$). En 2004, la proportion de bélugas en alimentation est considérablement plus grande que celle d'animaux en déplacement (65 % vs 35 %). En 2005, les deux proportions sont approximativement équivalentes. À partir de 2006, la proportion d'individus en déplacement est toujours plus grande que celle des animaux en alimentation, surtout en 2007 (69 % vs 31 %). De 2007 à 2009, elle décroît progressivement. À l'intérieur d'une même année, la proportion d'individus selon les deux types d'activités varie également d'un mois à l'autre de façon significative (test de Wilcoxon, $p < 0,01$) (voir annexe II). Comme mentionné auparavant, l'effort d'échantillonnage était plus faible aux mois de mai 2004, juin 2005 à 2008 et septembre 2009 (voir tableau 1).

En général, 44 % des bélugas sont orientés dans l'axe longitudinal du Saguenay (vers l'amont ou vers l'aval) alors que 43 % n'ont pas d'orientation précise ou alternent rapidement plusieurs directions de nage (figure 29 et tableau 10). Les orientations dans l'axe perpendiculaire au Saguenay (dans la baie Sainte-Catherine ou dans le Saint-Laurent) sont moins souvent adoptées (9 % et 5 % respectivement). La proportion des différents types d'orientation varie significativement d'une année à l'autre (KW, $p < 0,0001$). En 2003, l'orientation vers l'aval du Saguenay est dominante (47 %) ; elle est également la plus grande de toutes les saisons. En 2004 on observe plus souvent l'alternance de directions (36 %) et l'orientation vers l'amont du Saguenay (27 %). De 2005 à 2009, la catégorie dominante est « pas d'orientation précise » (entre 27 % et 35 %). L'orientation

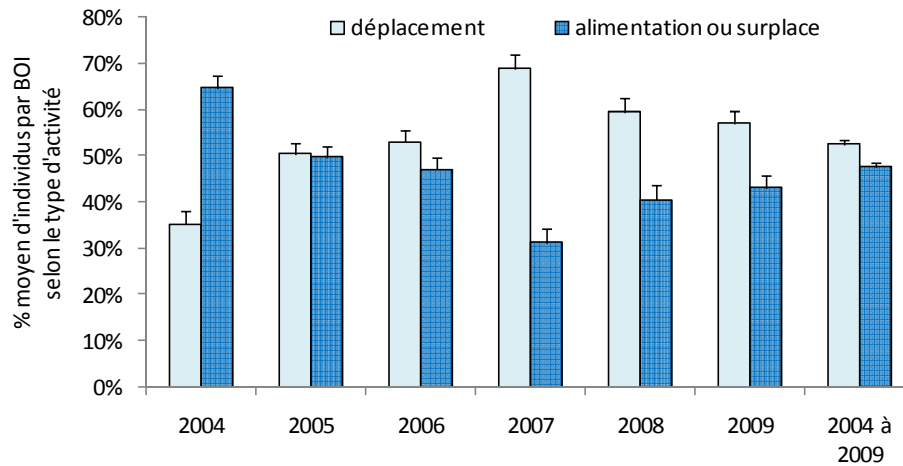


Figure 28 : Proportions moyennes des types d'activité observés chez les troupes de bélugas à chaque BOI pour chaque année et pour l'ensemble des données de 2004 à 2009, avec IC 95 %.

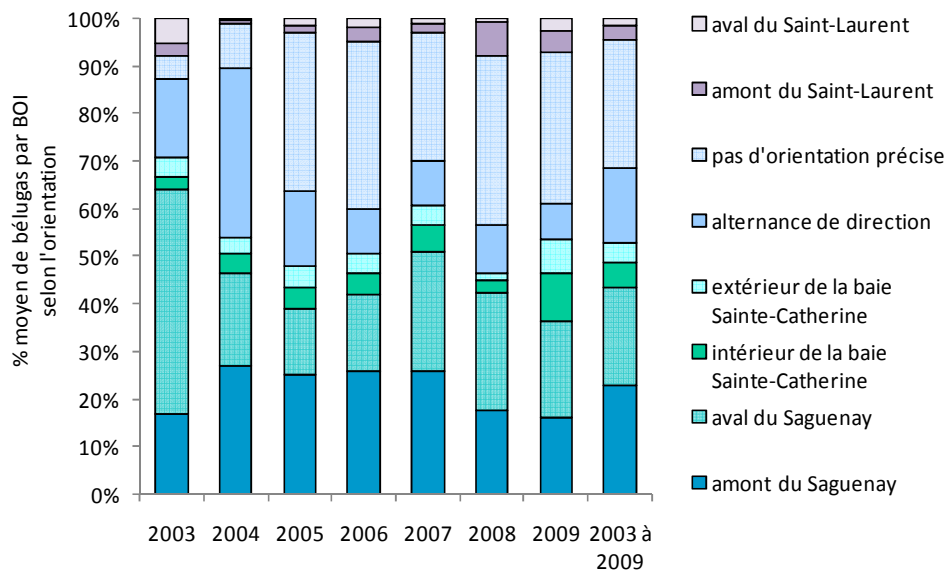


Figure 29 : Proportions du nombre de bélugas par BOI selon l'orientation des individus pour chaque année d'échantillonnage et pour l'ensemble des données (2003 à 2009).

vers l'amont du Saguenay est également importante en 2005, 2006 et 2007 (entre 25 % et 26 %). En 2007, 2008 et 2009 on observe aussi une proportion élevée de bélugas orientés vers l'aval du Saguenay (entre 20 % et 25 %).

Tableau 10 : Pourcentage moyen et IC 95 % du nombre de bélugas par BOI selon l'orientation des individus pour chaque année d'échantillonnage et pour l'ensemble des données (2003 à 2009).

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2003 à 2009
aval du Saint-Laurent	5,2%	0,4%	1,6%	2,0%	1,1%	0,8%	2,7%	1,7%
	± 2,4%	± 0,4%	± 0,6%	± 0,7%	± 0,7%	± 0,5%	± 0,9%	± 0,3%
amont du Saint-Laurent	2,8%	0,8%	1,5%	2,7%	1,9%	7,2%	4,4%	2,9%
	± 1,6%	± 0,5%	± 0,7	± 0,8%	± 0,9%	± 1,6%	± 1,2%	± 0,4%
pas d'orientation précise	4,7%	9,2%	33,0%	35,1%	26,7%	35,3%	31,7%	27,0%
	± 2,3%	± 1,5%	± 2,3%	± 2,2%	± 2,8%	± 2,8%	± 2,6%	± 0,9%
alternance de direction	16,7%	35,8%	16,0%	9,4%	9,6%	10,3%	7,6%	15,6%
	± 3,6%	± 2,6%	± 1,7%	± 1,3%	± 1,8%	± 1,8%	± 1,4%	± 0,8%
extérieur de la baie Sainte-Catherine	3,9%	3,2%	4,6%	4,2%	3,9%	1,3%	7,2%	4,1%
	± 1,9%	± 0,9%	± 1,0%	± 0,9%	± 1,1%	± 0,6%	± 1,4%	± 0,4%
intérieur de la baie Sainte-Catherine	2,9%	4,3%	4,2%	4,7%	5,7%	2,7%	10,0%	5,1%
	± 1,7%	± 1,1%	± 1,0%	± 1,0%	± 1,5%	± 1,0%	± 1,7%	± 0,5%
aval du Saguenay	47,2%	19,3%	13,9%	16,0%	25,1%	24,6%	20,3%	20,6%
	± 5,3%	± 2,1%	± 1,8%	± 1,8%	± 2,9%	± 2,7%	± 2,3%	± 0,9%
amont du Saguenay	16,7%	27,1%	25,1%	25,8%	25,9%	17,7%	15,9%	22,9%
	± 3,9%	± 2,4%	± 2,2%	± 2,1%	± 2,9%	± 2,4%	± 2,1%	± 0,9%

3.4.4 Cohésion et dynamisme des groupes

Dans l'ensemble des données, 47 % des groupes de bélugas observés ont une cohésion interindividuelle nulle (plus d'une longueur de corps entre les individus du même groupe ou individus solitaires) (figure 30 et au tableau 11). Les groupes avec cohésion forte (individus corps à corps) et modérée (moins d'une longueur de corps entre les individus) sont moins fréquents (28 % et 20 % respectivement) alors que ceux ayant cohésion faible (environ une longueur de corps entre les individus) sont peu observés (7 %). Ces

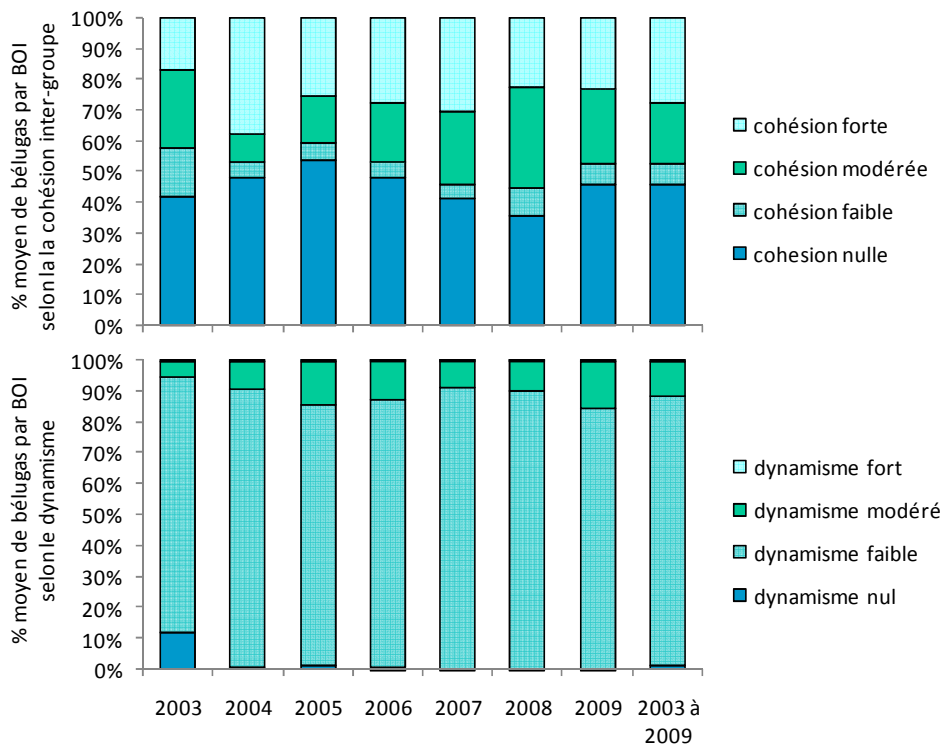


Figure 30 : Proportions du nombre de bélugas par BOI selon la cohésion (en haut) et le dynamisme (en bas) des groupes pour chaque année (2003 à 2009) et l'ensemble des données.

proportions varient significativement d'une année à l'autre (KW, $p < 0,0001$). La proportion de cohésion nulle atteint son maximum en 2005 (53 %) et son minimum en 2008 (36 %). En 2008, la cohésion modérée est à son maximum (33 %) alors qu'elle est à son minimum en 2004 (9 %). La cohésion forte est à son maximum en 2004 (38 %) et à son minimum en 2003 (17 %). La cohésion faible est plus importante en 2003 (16 %) par rapport aux autres années. La plupart des groupes observés entre 2003 et 2009 présente un dynamisme faible (87 %). Le dynamisme modéré représente 11 % des observations, tandis que la proportion de groupes ayant dynamisme nul ou fort est inférieure à 2 %. La proportion de chaque type de dynamisme varie sensiblement d'une année à l'autre (KW, $p < 0,0001$). En 2003 uniquement, le dynamisme nul est plus important que le dynamisme modéré (12 % vs 10 %).

Tableau 11 : Pourcentage moyen et IC 95 % du nombre de bélugas par BOI selon la cohésion et le dynamisme des groupes pour chaque année d'échantillonnage et pour l'ensemble des données (2003 à 2009).

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2003 à 2009
cohésion forte	16,8%	37,7%	25,3%	27,7%	30,3%	22,6%	23,1%	27,5%
	± 3,4%	± 2,2%	± 2,1%	± 2,1%	± 2,8%	± 2,5%	± 2,3%	± 0,9%
cohésion modérée	25,7%	9,3%	15,7%	19,4%	24,0%	32,5%	23,8%	20,1%
	± 4,1%	± 1,4%	± 1,7%	± 1,8%	± 2,6%	± 2,6%	± 2,3%	± 0,8%
cohésion faible	15,6%	5,2%	5,7%	5,0%	4,6%	9,4%	7,0%	6,5%
	± 3,6%	± 1,0%	± 1,0%	± 1,0%	± 1,3%	± 1,5%	± 1,3%	± 0,5%
cohésion nulle	41,8%	47,8%	53,4%	47,9%	41,0%	35,5%	45,2%	45,7%
	± 4,6%	± 2,3%	± 2,3%	± 2,3%	± 3,0%	± 2,6%	± 2,7%	± 1,0%
dynamisme fort	0,7%	0,7%	0,8%	0,2%	0,2%	0,2%	0,6%	0,5%
	± 0,5%	± 0,3%	± 0,5%	± 0,2%	± 0,3%	± 0,3%	± 0,4%	± 0,1%
dynamisme modéré	9,6%	9,0%	13,6%	13,0%	8,9%	9,9%	15,0%	11,4%
	± 2,0%	± 1,4%	± 1,6%	± 1,5%	± 1,7%	± 1,7%	± 2,2%	± 0,7%
dynamisme faible	82,8%	89,8%	84,5%	86,5%	90,8%	89,8%	85,1%	87,3%
	± 3,8%	± 1,4%	± 1,7%	± 1,5%	± 1,8%	± 1,7%	± 2,1%	± 0,7%
dynamisme nul	11,7%	0,4%	1,1%	0,3%	0,2%	0,1%	0,2%	1,0%
	± 3,4%	± 0,3%	± 0,5%	± 0,3%	± 0,1%	± 0,2%	± 0,2%	± 0,2%

Le test de corrélation non paramétrique de Spearman a révélé des corrélations significatives entre les proportions d'individus selon la classe d'âge, le type d'activité, le degré de cohésion et de dynamisme des groupes ainsi que le nombre de bélugas par BOI (tableau 12). En présence d'un plus grand nombre de bélugas, on observe plus fréquemment des groupes avec dynamisme modéré ($\rho = 0,25$) et cohésion forte ($\rho = 0,27$), modérée ($\rho = 0,35$) ou faible ($\rho = 0,28$), alors que les groupes avec dynamisme faible et cohésion nulle sont moins fréquents ($\rho = -0,23$ et $-0,38$ respectivement). Plus le pourcentage d'adultes est grand, plus les groupes ont une cohésion nulle ($\rho = 0,40$) et moins on y observe de cohésion forte ($\rho = -0,43$). À l'inverse, plus il y a de juvéniles ou de vieux dans les groupes, plus la cohésion est forte ($\rho = 0,33$ et $0,30$ respectivement) et

Tableau 12 : Valeurs du coefficient de Spearman (ρ) pour les corrélations significatives entre le nombre de bélugas et les proportions d'individus selon la classe d'âge, le type d'activité, le degré de cohésion et de dynamisme.

ρ de Spearman significatifs (n.s. = non significatif, $\alpha = 0,05$)	% dynamisme fort	% dynamisme modéré	% dynamisme faible	% dynamisme nul	% cohésion forte	% cohésion modérée	% cohésion faible	% cohésion nulle	% alimentation	% surplace	% déplacement	% veaux	% juvéniles	% adultes
nombre de bélugas	0,09	0,25	-0,23	-0,03	0,27	0,35	0,28	-0,38	0,07	n.s.	-0,04	0,30	0,38	-0,38
% adultes	n.s.	-0,11	0,10	n.s.	-0,41	-0,15	n.s.	0,49	0,06	n.s.	-0,06	n.s.	n.s.	
% juvéniles	0,04	0,13	-0,13	n.s.	0,29	0,19	0,04	-0,40	-0,06	n.s.	0,07	n.s.		
% veaux	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,34	n.s.	n.s.	-0,29	n.s.	n.s.	n.s.			
% déplacement	-0,04	-0,18	0,20	-0,07	0,05	n.s.	-0,05	-0,10	n.s.	n.s.				
% surplace	n.s.	n.s.	-0,11	0,48	-0,03	n.s.	-0,03	0,05	n.s.					
% alimentation	0,03	0,20	-0,18	-0,05	n.s.	n.s.	0,05	0,12						
% cohésion nulle	n.s.	-0,07	0,05	0,07	n.s.	n.s.	n.s.							
% cohésion faible	0,03	0,08	-0,08	n.s.	n.s.	n.s.								
% cohésion modérée	n.s.	0,07	-0,06	-0,03	n.s.									
% cohésion forte	n.s.	0,08	-0,07	-0,03										
% dynamisme nul	n.s.	n.s.	n.s.											
% dynamisme faible	n.s.	n.s.												
% dynamisme modéré	n.s.													

moins on observe la cohésion nulle ($\rho = -0,35$ e $-0,18$ respectivement). La proportion d'individus avec dynamisme nul est corrélée significativement avec l'activité de surplace ($\rho = 0,48$). Le déplacement est positivement corrélé significativement avec le dynamisme faible ($\rho = 0,20$) alors que l'alimentation l'est avec le dynamisme modéré ($\rho = 0,20$).

En moyenne, pour l'ensemble des données (2004 à 2009), la proportion d'individus en déplacement et celle d'individus en alimentation ou surplace sont relativement stables au cours du jour (figure 31). On observe une variation plus prononcée des proportions vers 12h, où il y a une augmentation du pourcentage d'individus en déplacement (63 %) versus une diminution des animaux en alimentation ou surplace (37 %). Dès 13h, les proportions se rapprochent à nouveau de la moyenne. La variation horaire des proportions des deux

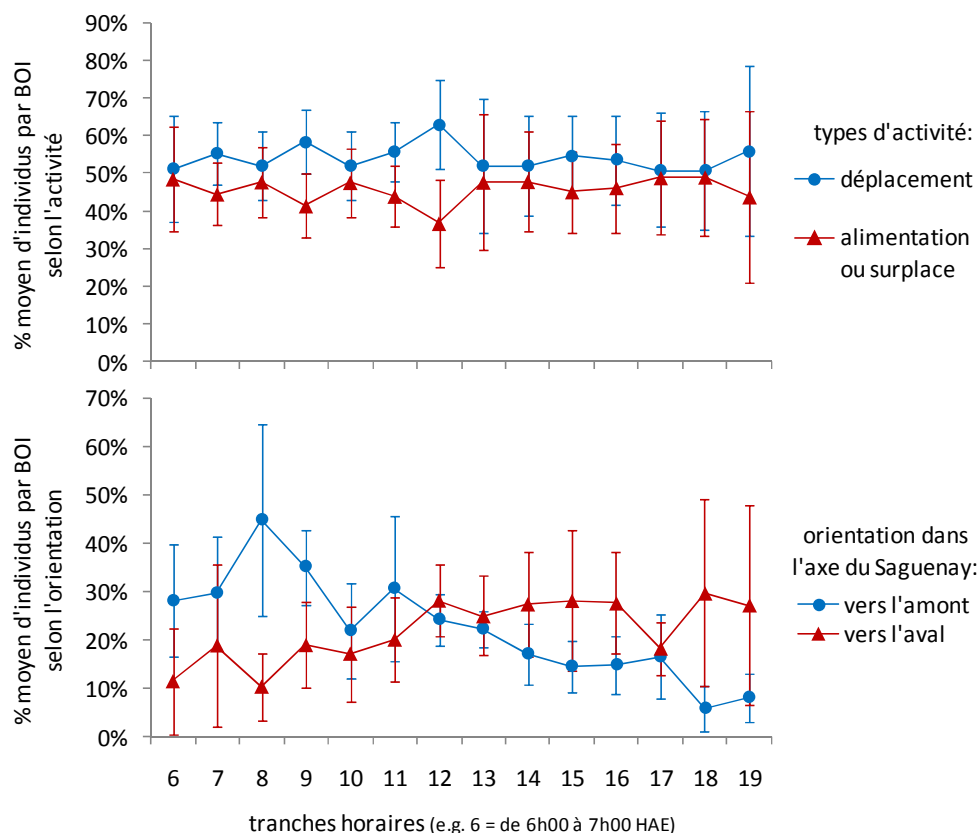


Figure 31 : Proportion du nombre de bélugas observés par BOI au cours du jour selon l'activité des individus (en haut) et leur orientation dans l'axe du Saguenay (en bas), présenté par tranches horaires, avec IC 95 % des séries moyennes annuelles.

types d'activité au cours du jour est significative (KW, $p = 0,005$). La variation horaire des proportions d'individus selon leur orientation dans l'axe du Saguenay (vers l'amont ou vers l'aval) au cours du jour est plus prononcée qu'en fonction de l'activité (figure 31). En moyenne, on observe un pourcentage plus élevé d'individus orientés vers l'amont du Saguenay tôt le matin (pic de 45 % à 8h) et une diminution progressive jusqu'au soir (minimum de 6 % à 18h). Au contraire, le pourcentage d'individus orientés vers l'aval du fjord est plus bas le matin (minimum de 10 % à 8h) et augmente au cours de la journée, atteignant son maximum en fin de journée (30 % à 18h). La variation des proportions d'individus selon les deux types d'orientation est significative (KW, $p < 0,0001$) dans l'ensemble des données (2003 à 2009).

3.5 INFLUENCE DE LA MAREE SUR LE COMPORTEMENT DES BELUGAS

3.5.1 Influence de la marée sur l'abondance de bélugas

La figure 32 illustre la variation de l'abondance moyenne de bélugas pendant le cycle de marée (divisé en 12 phases) pour l'ensemble des données et pour chaque année. L'abondance varie de façon significative au cours du cycle tidal à chaque année (KW, $p < 0,0001$) et pour l'ensemble des données (KW, $p < 0,0001$). En général, on observe un plus grand nombre d'individus à partir de la moitié du flot (phase 3) jusqu'à la première heure du jusant (phase 7). Dans la majorité des années, l'augmentation de l'abondance entre la phase 2 et la phase 3 est assez marquée. Ceci est particulièrement vrai en 2008, lorsque le nombre de bélugas augmente d'un facteur 2,7 entre ces deux phases. En 2004 et 2007 le nombre d'individus chute brusquement après les phases 7 et 6, respectivement, alors que dans les autres saisons l'abondance diminue de façon plus graduelle. Pendant le jusant, on observe parfois une légère augmentation de l'abondance autour des phases 9, 10 (2005 et 2007) et 11 (2006).

La figure 33 présente le dendrogramme obtenu de l'analyse de similarité des patrons annuels d'abondance standardisée de bélugas par phase de marée au cours des années. Cette analyse avait pour but de grouper ensemble les phases de marée présentant des abondances relatives similaires, à travers la série pluriannuelle des tests de différence significative entre les abondances annuelles à chaque phase (voir section 2.3.3). On remarque deux groupes principaux, l'un constitué des phases 1, 2, 8, 9, 10, 11 et 12 et l'autre constitué des phases 3, 4, 5, 6 et 7. Le premier groupe rassemble la séquence de phases contiguës 8 à 12, 1 et 2, la phase 2 étant plus distante des autres (distance 0,80). Dans le deuxième groupe, on retrouve les phases du milieu du flot (phases 3 et 4) jusqu'à la renverse du courant après l'étalement de haute mer (phase 7). L'abondance moyenne de bélugas dans le premier groupe est de 2,4 individus par BOI ($n = 6924$) tandis qu'elle est plus du double dans le deuxième groupe, avec 5,5 individus par BOI ($n = 5833$). La différence entre les moyennes des deux groupes est significative (test de Wilcoxon, $p < 0,0001$).

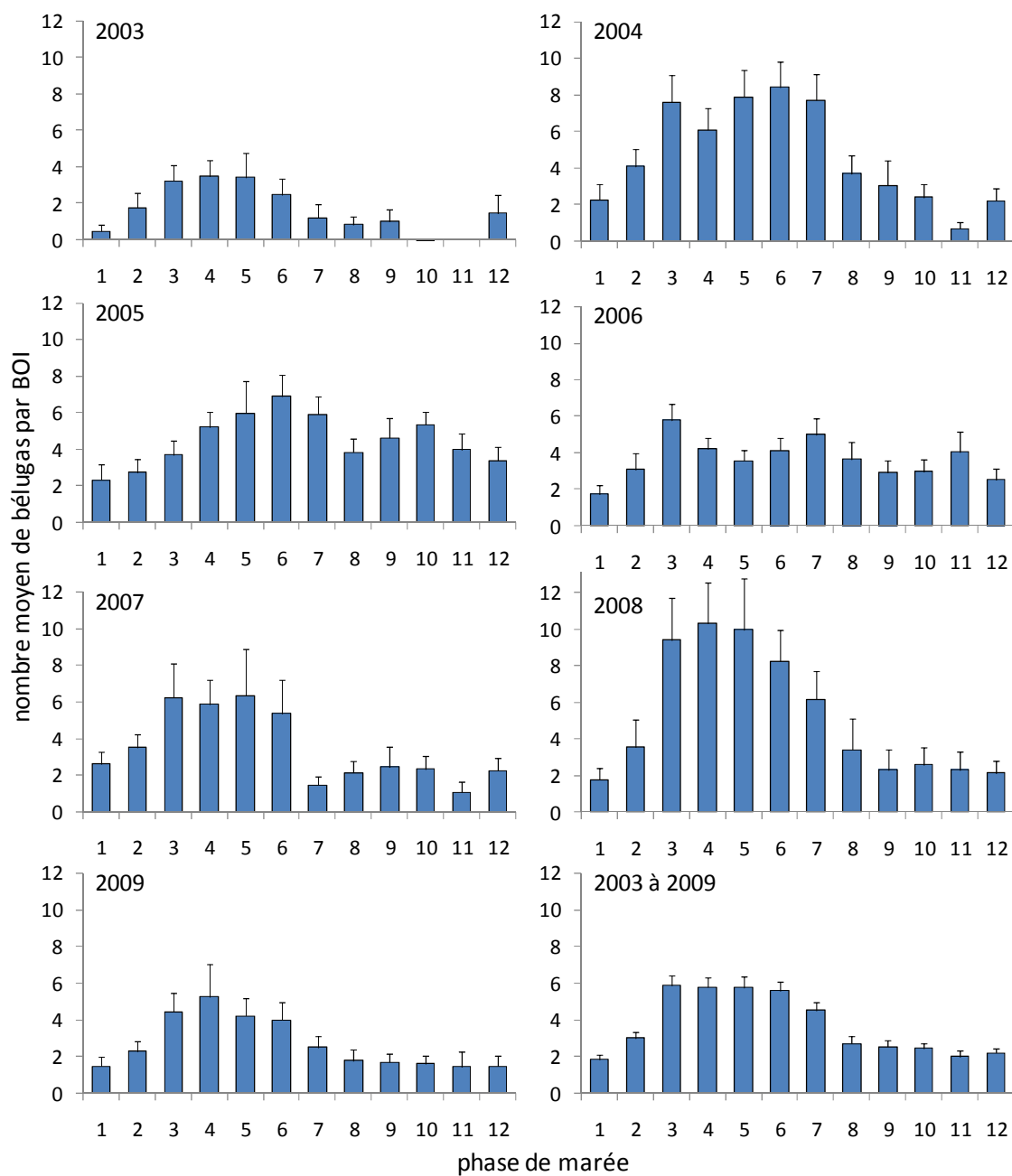


Figure 32: Évolution de l'abondance moyenne de bélugas par BOI au cours du cycle de marée (divisé en 12 phases) de 2003 à 2009, avec borne supérieure de l'IC 95 %.

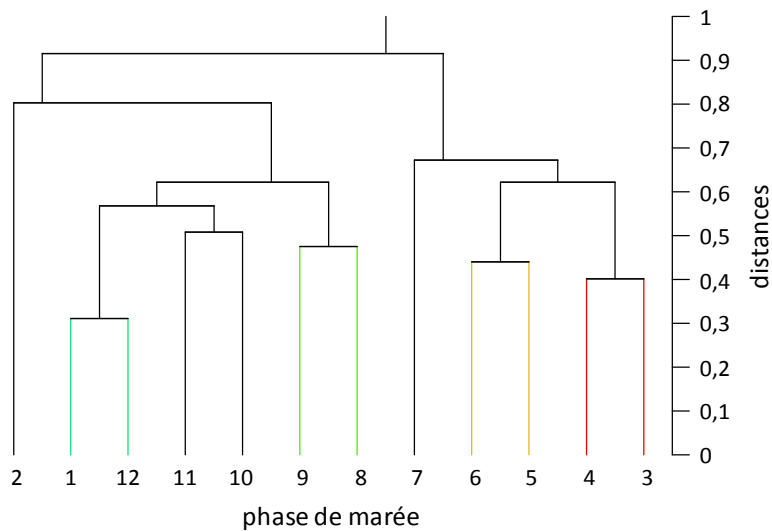


Figure 33: Dendrogramme obtenu à partir de l'analyse de similarité des patrons d'abondance de bélugas par phase de marée au cours des années.

Les résultats de l'analyse de l'abondance de bélugas en fonction du marnage ne sont pas présentés, aucune relation claire entre ces deux variables n'ayant été observée et l'échantillonnage des périodes de vives-eaux et mortes-eaux n'ayant pas été fait de façon systématique. Toutefois, un épisode d'abondance exceptionnelle de bélugas, observé en période de vives-eaux maximales en 2008, est présenté à titre anecdotique pour illustrer un possible lien avec les processus tidaux semi-mensuels (figure 34). L'abondance des autres espèces de cétacé observées cette année est également présentée. En septembre 2008, l'abondance journalière de bélugas a dépassé toutes les valeurs observées auparavant dans la même année à la fin des mortes-eaux (17,7 individus/BOI le 10 septembre). Dans les autres années, cette valeur n'a été dépassée qu'une fois en 2004 (17,9 le 29 juin) et deux fois en 2009 (17,0 le 9 juin et 22,2 le 17 juillet). Par la suite, l'abondance moyenne de bélugas a augmenté de façon exponentielle, atteignant des valeurs record entre le 16 et le 18 septembre, en période de vives-eaux (40,5 individus/BOI en moyenne, avec un pic à 55,0 le 16 septembre). Le nombre de bélugas a ensuite diminué (tout en demeurant élevé par rapport à la moyenne annuelle) jusqu'aux mortes-eaux suivantes.

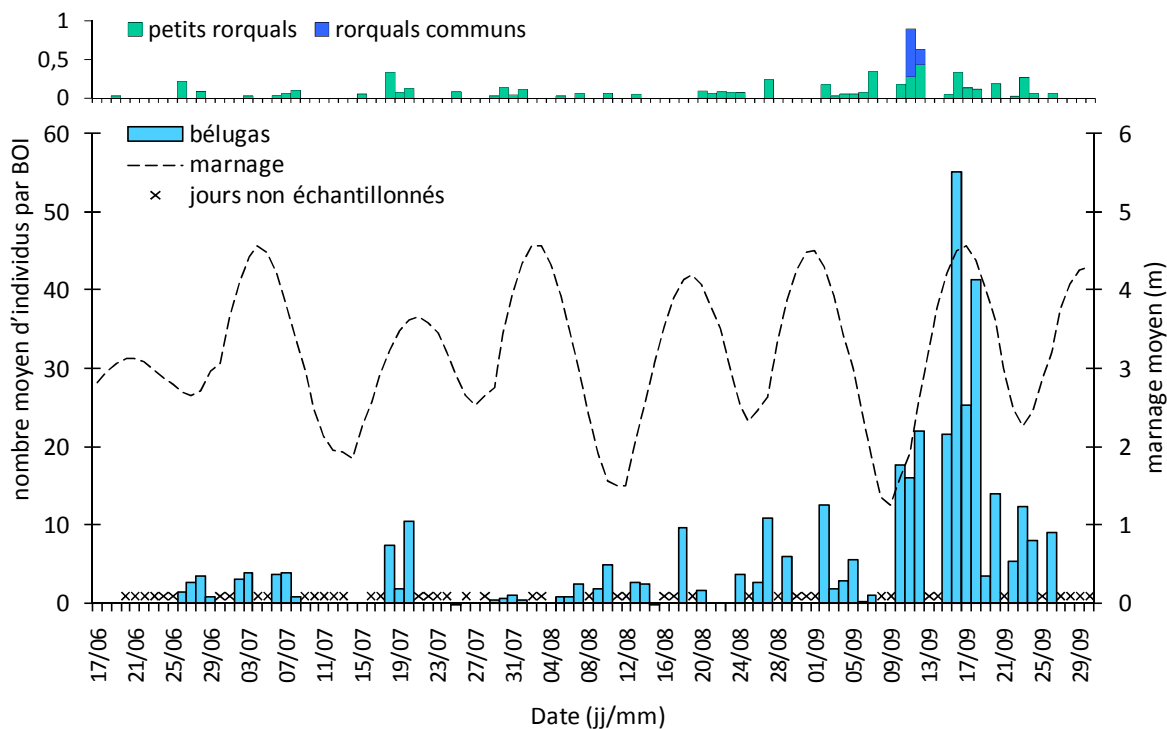


Figure 34 : Abondance de bélugas (en bas) et des autres espèces de cétacé observées (en haut) par BOI et marnage moyens pour chaque jour d'échantillonnage en 2008.

L'abondance journalière de petits rorquals a également connu des valeurs élevées entre les mortes-eaux et les vives-eaux du 9 au 17 septembre (maximum de 0,43 individus/BOI observé le 12 septembre), coïncidant avec la présence de rorquals communs dans l'aire d'étude (les 11 et 12 septembre), dont la présence a été rare au cours des 7 ans (voir section 3.6.2).

3.5.2 Influence de la marée sur la répartition spatiale des bélugas

La figure 35 illustre le dendrogramme obtenu de l'analyse de la distribution spatio-temporelle des bélugas selon le cycle de marée (divisé en 12 phases) et l'année (données présentées à l'annexe III). La coupure des ramifications du dendrogramme à la distance 4 a permis d'identifier deux groupes de principaux (1 et 2).

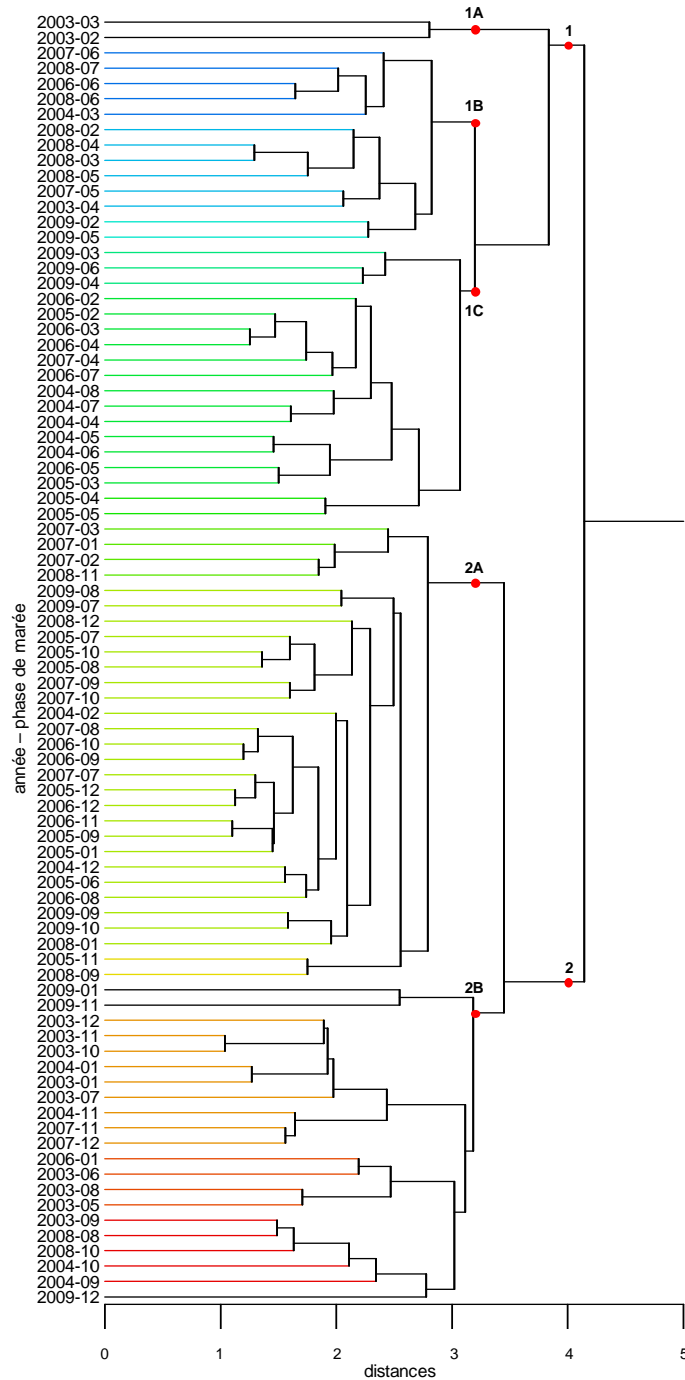


Figure 35 : Dendrogramme issu de la classification de la distribution spatiale de bélugas selon le cycle de marée (divisé en 12 phases) et l'année. Les points rouges indiquent les coupures effectuées afin de déterminer les groupes principaux (1 et 2) et secondaires (1A, 1B, 1C, 2A et 2B).

Tableau 13 : Statistiques descriptives des groupes principaux et secondaires identifiés dans le dendrogramme de la figure 35, présentées selon la subdivision du cycle de marée en flot/jusant et en groupes de phases contiguës.

groupes	1	2	1A	1B	1C	2A	2B
nombre d'observations	33	51	2	13	18	30	21
valeur médiane de la phase	4	9	2,5	5	4	9	9
% observations au flot	88%*	25%*	100%	92%	83%*	23%*	29%
% observations au jusant	12%*	75%*	0%	8%	17%*	77%*	71%
% observations de phase ≥ 3 et ≤ 7	82%*	16%*	50%	85%	83%*	17%*	14%*
% observations de phase ≤ 2 ou ≥ 8	18%*	84%*	50%	15%	17%*	83%*	86%*

*différence significative (test de Fisher exact à un échantillon, $\alpha = 0,05$) entre le pourcentage d'observations faisant partie du flot vs le pourcentage d'observations faisant partie du jusant ou entre le pourcentage d'observations dont la phase est ≥ 3 et ≤ 7 vs le pourcentage d'observations dont la phase est ≤ 2 ou ≥ 8 .

Comme pour l'abondance, ces deux groupes identifient deux périodes différentes du cycle de marée (figure 36). En effet, le groupe 1 est constitué à 82 % d'observations comprises entre les phases 3 et 7 et à 88 % d'observations pendant le flot, tandis que le groupe 2 est constitué à 84 % d'observations de phase inférieure à 3 ou supérieure à 7 et à 74 % d'observations pendant le jusant (tableau 13).

Les groupes principaux ont été subdivisés en groupes secondaires (1A, 1B, 1C, 2A et 2B) par le biais d'une deuxième coupure à la distance 3,2 (figure 35). Dans les groupes secondaires, la contribution des périodes du cycle de marée reste similaire à celle des groupes principaux d'appartenance (figure 36 et tableau 13).

Les groupes secondaires se distinguent plutôt par la prépondérance de certaines années. Le groupe 1A est constitué uniquement de deux observations de 2003. Dans le groupe 1B, 2008 est l'année la plus présente. Le groupe 1C est constitué principalement des observations de 2004, 2005 et 2006. Le plus grand groupe secondaire est 2A (30 observations), avec la prédominance de 2005, 2006 et 2007. Dans le groupe 2B, 2003 est l'année la plus présente.

année \ phase	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
groupe	1							2						

année \ phase	2003	2003	2004	2006	2007	2008	2009	2004	2005	2006	2007	2009	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2003	2004	2006	2007	2008	2009
1																								
2																								
3																								
4																								
5																								
6																								
7																								
8																								
9																								
10																								
11																								
12																								
groupe	1A	1B					1C			2A				2B										

Figure 36 : Schéma résumant la composition des groupes principaux et secondaires identifiés dans le dendrogramme de la figure 35, selon la phase de marée et l'année d'appartenance des observations (carrés grisés).

La distribution spatiale des densités de bélugas (exprimées en moyenne des déciles par quadrat) pour chaque groupe identifié dans le dendrogramme est illustrée aux figures 37 et 38. En général, les observations occupent la majorité des quadrats (80 % dans les groupes 1 et 2), couvrant de façon uniforme presque la totalité du bassin et laissant découvertes des zones moins profondes situées en bordure du bassin. Dans le groupe 1C et 2A, 79 % des quadrats contiennent des observations de bélugas. Les bélugas sont

également observés dans 74 % des quadrats du groupe 1B et dans 69 % du groupe 2B. La situation est différente dans le groupe 1A, où les observations ne recouvrent que 34 % des quadrats, se concentrant dans une bande horizontale étroite entre Pointe Noire et le seuil du fjord et dans le sud-est du bassin.

L'étendue et le positionnement des zones de densité élevée (moyenne des déciles > 7) et maximale (> 9) varient d'un groupe à l'autre. Dans les groupes principaux, ces zones sont plus étendues dans le groupe 1, où on trouve 8 quadrats contigus de densité élevée entre Pointe-Noire et le centre du bassin, alors que dans le groupe 2 on en trouve seulement 3 en face de Pointe-Noire. Dans les groupes secondaires, le groupe 1A présente 3 quadrats non contigus de densité élevée situés entre le centre-sud du bassin et le seuil, dont un de densité maximale. Dans le groupe 1B on observe une plus grande zone (10 quadrats) de densité élevée, située le long de l'axe longitudinal du fjord entre Pointe Noire et le seuil, avec deux noyaux plus denses (moyenne des déciles > 8) à proximité du seuil (3 quadrats) et dans la partie profonde du bassin (1 quadrat). Dans le groupe 1C on retrouve une zone de densité élevée un peu moins étendue (9 quadrats), située entre Pointe Noire et le centre du bassin et présentant un noyau de densité maximale devant Pointe Noire (4 quadrats). La zone de densité élevée est encore moins étendue dans le groupe 2A, occupant 7 quadrats devant Pointe Noire et vers centre du Saguenay, avec un quadrat de densité maximale à l'est de Pointe Noire. Enfin, le groupe 2B présente un seul quadrat de densité élevée, situé à proximité de la rive à l'est de Pointe Noire. Les cartes de distribution spatiale des bélugas par phase de marée de l'ensemble des données et de chaque année sont présentées à l'annexe III.

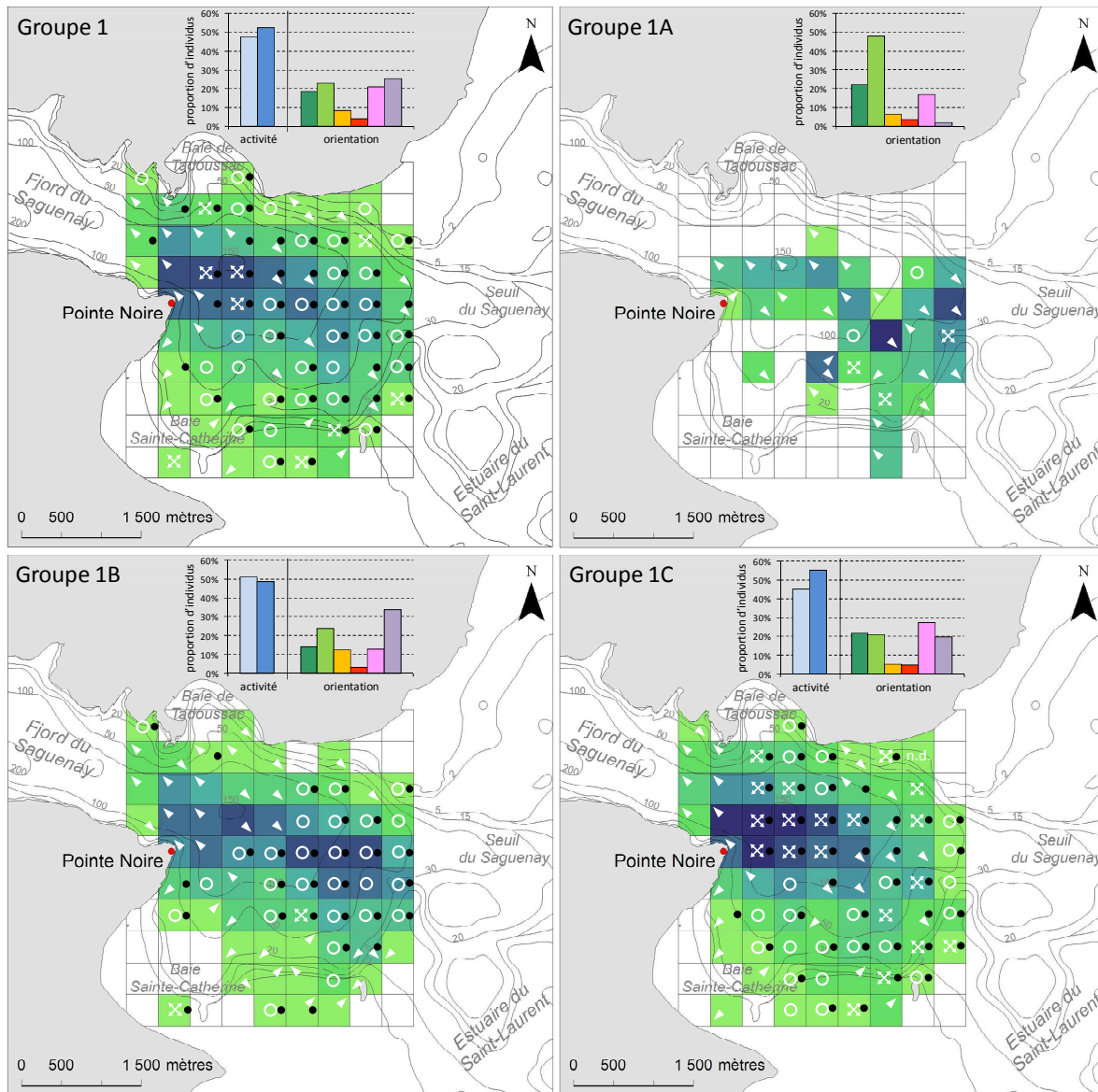


Figure 37 : Distribution spatiale des densités de bélugas (moyenne des déciles par quadrat), orientation et activité dominantes dans chaque quadrat (symboles) et proportions moyennes des différents types d'activité et d'orientation (histogrammes) pour les groupes 1, 1A, 1B et 1C identifiés dans le dendrogramme de la figure 35. Voir la légende à la figure 38.

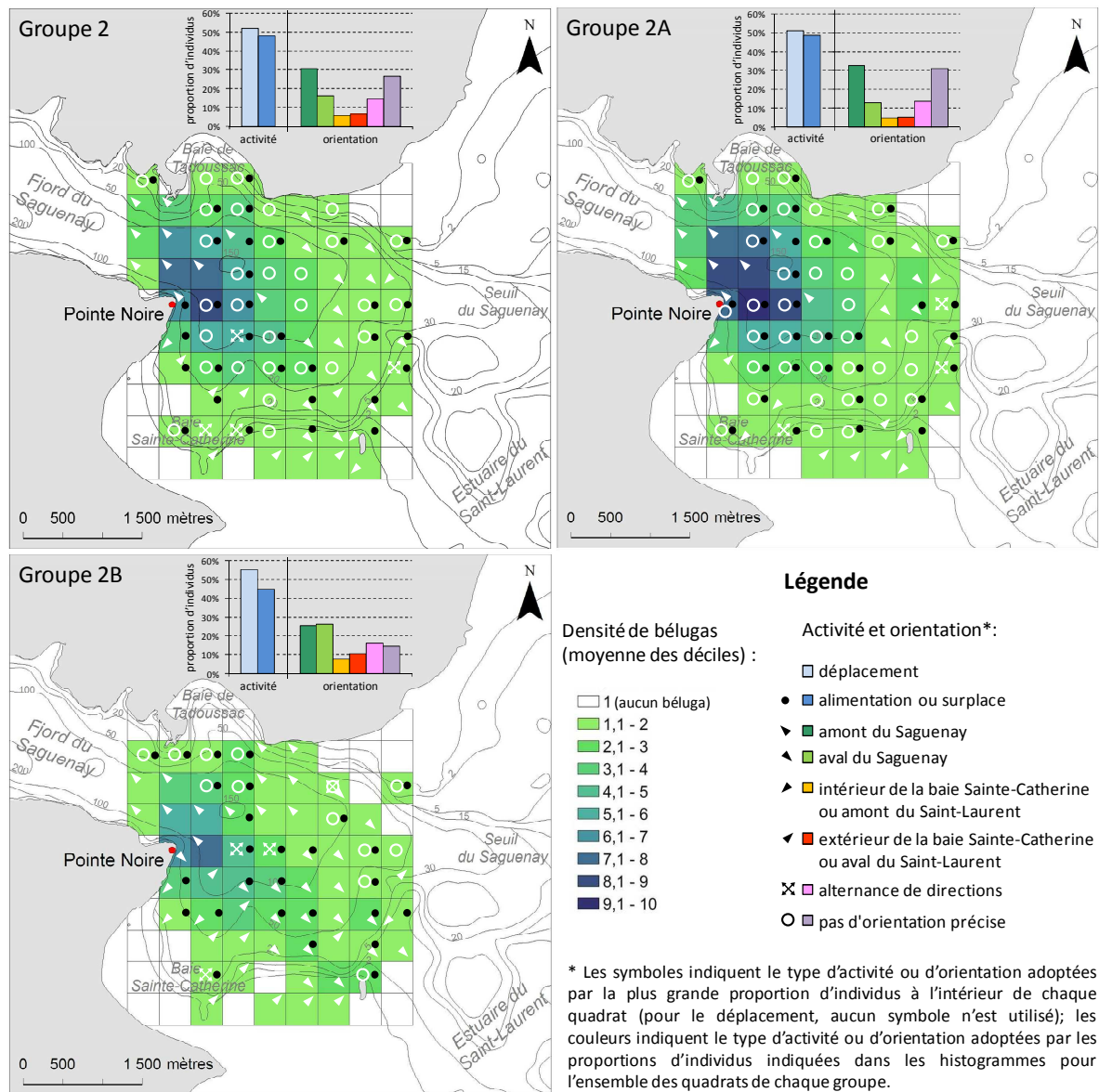


Figure 38 : Distribution spatiale des densités de bélugas (moyenne des déciles par quadrat), orientation et activité dominantes dans chaque quadrat (symboles) et proportions moyennes des différents types d'activité et d'orientation (histogrammes) pour les groupes 2, 2A et 2B identifiés dans le dendrogramme de la figure 35.

La proportion des orientations des bélugas varie également d'un groupe à l'autre, alors que la proportion des activités diffère peu (figures 37 et 38). On peut déceler une légère prédominance de l'activité d'alimentation/surplace chez les groupes 1 et 1C et une légère prédominance de l'activité de déplacement chez les groupes 1B, 2, 2A et 2B⁹. La répartition spatiale des orientations et des activités varient de façon plus marquée. En général, les orientations vers l'amont et vers l'aval sont observées dans le chenal du Saguenay, avec les orientations vers l'amont réparties principalement dans la moitié amont de l'aire d'étude et les orientations vers l'aval réparties surtout dans la moitié aval. Ces orientations ne sont presque jamais observées dans la baie Sainte-Catherine, où les bélugas adoptent plutôt des orientations dans l'axe perpendiculaire au Saguenay. L'alternance de directions et l'orientation non précise sont observées un peu partout, mais rarement en amont de Pointe-Noire, où les bélugas ont tendance à se déplacer vers l'amont du fjord. L'alternance de directions et l'orientation non précise sont plus fréquentes dans les zones utilisées principalement pour l'alimentation/surplace, alors que les orientations dans les axes longitudinal et perpendiculaire du Saguenay sont plus souvent empruntées dans les zones où le déplacement est l'activité dominante. Le groupe 1 se démarque par une large zone (42 quadrats) où l'activité d'alimentation/surplace est plus fréquente, couvrant la partie centrale du bassin et s'élargissant vers l'aval en direction du seuil, avec des extensions dans la baie Sainte-Catherine et près de la baie de Tadoussac. Les orientations plus fréquentes sont l'orientation non précise, vers l'aval du Saguenay et l'alternance de directions (> 20 %). Les observations d'alternance de directions sont concentrées dans la zone de haute densité devant Pointe-Noire, alors que celles d'orientation non précise sont spatialement plus répandues. Dans le groupe 2 on observe une zone moins large (33 quadrats) utilisée principalement pour l'alimentation/surplace, se situant plus vers l'amont par rapport au groupe 1. Les orientations plus fréquentes sont vers l'amont du Saguenay (31 %) et l'orientation non précise (27 %).

⁹ Les proportions des activités n'ont pas été calculées pour le groupe 1A puisque les observations de ce groupe ont été effectuées en 2003, lorsque l'activité était notée différemment par rapport aux autres années.

Le patron spatial des orientations et activités diffère également entre les groupes secondaires. Dans le groupe 1B on remarque une zone homogène composée de 28 quadrats où l'activité et l'orientation dominantes sont l'alimentation/surplace et l'orientation non précise, recouvrant et entourant le noyau de densité élevée situé à proximité du seuil. Dans la partie amont on observe principalement des bélugas en déplacement dans l'axe longitudinal du fjord. Dans le groupe 1C, la zone utilisée pour l'alimentation/surplace est beaucoup plus grande (41 quadrats) et s'étend de l'extrémité aval de la grille jusqu'à Pointe-Noire vers l'amont. L'orientation la plus souvent adoptée dans ce groupe est l'alternance de directions, observée plus fréquemment dans la zone de haute densité entre Pointe-Noire et le centre du bassin. Le groupe 2A se distingue par la présence de plusieurs quadrats de dominance d'alimentation/surplace avec orientation non précise qui sont situés surtout dans la baie Sainte-Catherine et vers l'amont du bassin jusqu'à Pointe-Noire et vers la baie de Tadoussac. Plusieurs quadrats de haute densité à proximité de Pointe-Noire sont caractérisés par le déplacement vers l'amont du fjord. Enfin, le groupe 2B se caractérise par la prépondérance de zones principalement utilisées pour le déplacement dans l'axe longitudinal du Saguenay (22 quadrats), entrecoupées par des zones dispersées utilisées pour l'alimentation/surplace.

3.5.3 Influence de la marée sur l'activité, l'orientation, le dynamisme et la cohésion des individus

La figure 39 illustre l'abondance moyenne de bélugas en déplacement et celle de bélugas en alimentation ou surplace selon la phase de marée pour les données de 2004 à 2009. Le nombre moyen d'individus pour chaque type d'activité varie de façon significative dans les 12 phases, dans l'ensemble des données (KW, $p < 0,0001$) et à chaque année ($p < 0,03$). Le pourcentage moyen d'individus en déplacement et celui d'individus en alimentation ou surplace varient également de façon significative dans l'ensemble des données ($p < 0,0001$). Une variation significative des proportions s'observe également à chaque année ($p < 0,04$) sauf en 2009 ($p = 0,32$).

Dans l'ensemble des données, on observe un plus grand nombre de bélugas en alimentation ou surplace par BOI ($> 2,4$ individus) pendant les phases 3 à 7. Le maximum est observé à la phase 3 (3,4 individus) alors que le minimum est à la phase 1 (0,7 individus). Le nombre de bélugas en déplacement augmente également pendant les phases 3 à 7 (valeurs comprises entre 2,3 et 3,2 individus, maximum observé à la phase 4). Le minimum d'individus en déplacement (1,1) est observé aux phases 1 et 12. L'évolution de l'abondance moyenne de bélugas par type d'activité, d'une phase à l'autre du cycle de marée, diffère sensiblement d'une année à l'autre sans montrer de tendance claire.

La figure 40 illustre la variation, au cours du cycle de marée semi-diurne, des proportions moyennes de bélugas pour chaque type d'orientation, dans l'ensemble des données (2003 à 2009). La variation est significative pour toutes les orientations (KW, $p < 0,002$) sauf pour celle vers l'intérieur de la baie Sainte-Catherine ($p = 0,27$). Les orientations vers l'amont et vers l'aval du Saguenay présentent des patrons presque opposés. La proportion d'individus orientés vers l'amont du Saguenay est plus grande au début du flot (37 %), puis elle diminue progressivement jusqu'à la phase 5 (13 %) pour ré-augmenter ensuite jusqu'à la phase 12 (32 %). La proportion d'individus orientés vers l'aval du fjord est basse au début du flot (15 %), elle augmente jusqu'à un maximum aux phases 4 et 5 (~30 %) puis diminue à son niveau initial à partir de la phase 7. Pendant les phases 4, 5 et 6, la majorité des individus orientés vers l'amont du fjord est inférieure à la moyenne (< 23 %), alors que la proportion d'individus orientés vers l'aval est supérieure à la moyenne (> 21 %). La proportion d'individus orientés vers l'intérieur la baie Sainte-Catherine et celle d'individus orientés vers l'extérieur de la baie évoluent de façon similaire et sont marquées par un maximum vers la moitié du jusant (phases 8 et 9). La proportion de bélugas observés en alternance de direction de nage augmente progressivement entre le début du flot et la phase 7 et diminue par la suite. La proportion d'individus n'ayant pas d'orientation précise est plus forte entre les phases 9 (maximum) et 12. Enfin, la proportion de bélugas orientés vers l'amont du Saint-Laurent est faible et variable, la seule distinction notable étant un maximum vers l'amont à partir du milieu du flot et un maximum vers l'aval dans la première heure après la basse mer.

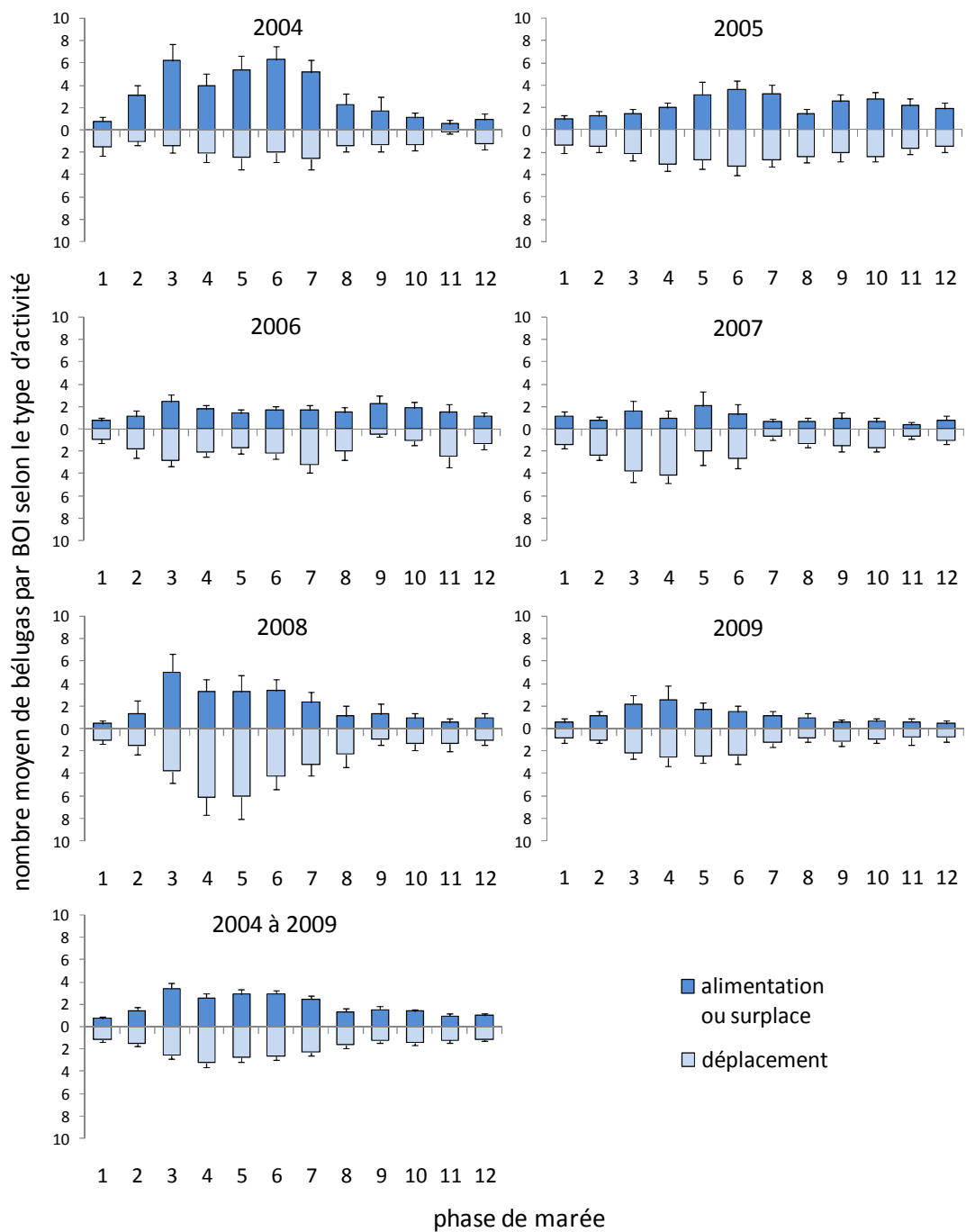


Figure 39: Évolution de l'abondance moyenne de bélugas par BOI au cours du cycle de marée (divisé en 12 phases) de 2004 à 2009, avec les proportions d'individus selon le type d'activité et leur IC 95 % respectif.

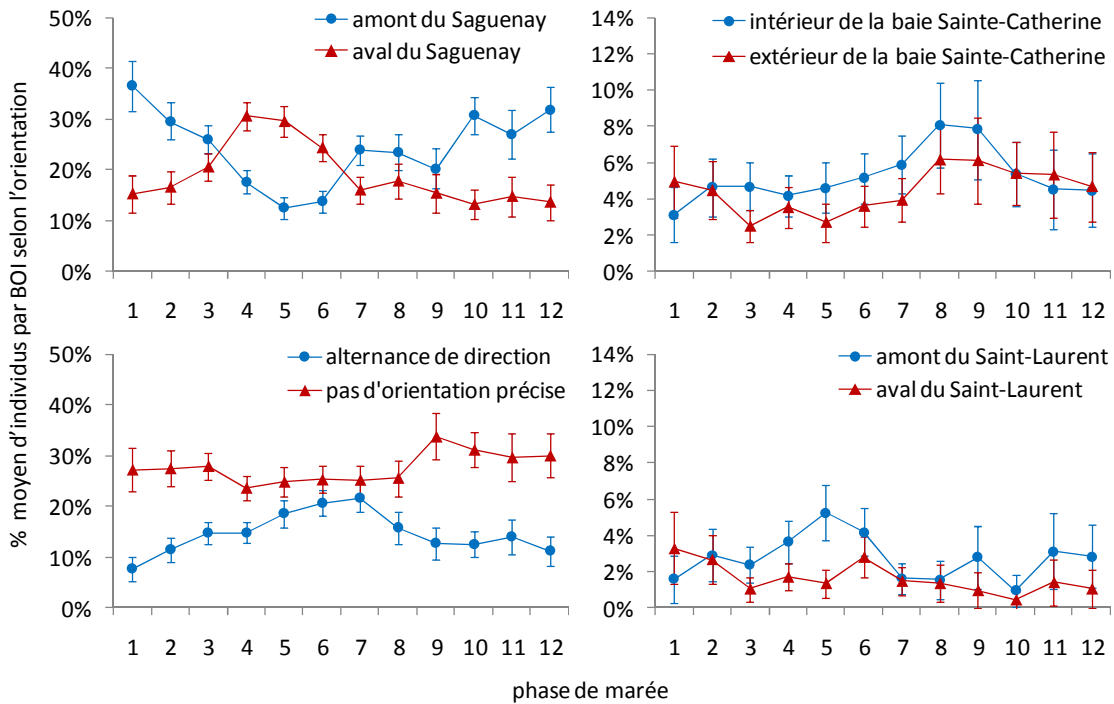


Figure 40 : Pourcentage moyen de bélugas par BOI selon le type d'orientation par phase de marée dans l'ensemble des données (2003 à 2009), avec IC 95 % (noter que l'échelle verticale des graphiques diffère).

La proportion moyenne de groupes selon le type de cohésion (nulle, faible, modérée ou forte) et de dynamisme (nul, faible, modéré ou fort) varie également au cours du cycle de marée semi-diurne (tableau 14). On observe un signal tidal de flot sur la cohésion faible (valeurs fortes pendant les phases 2 à 6) et le dynamisme nul (phases 2 à 4). La proportion de groupes ayant une cohésion forte est faible pendant le flot (phases 2 à 4) alors qu'elle est plus forte au jusant (phases 7 à 10 et 12). On note également des proportions plus grandes de groupes avec dynamisme fort lors des phases 4 à 6 du flot et 9 à 11 au jusant.

Tableau 14 : Pourcentage moyen et IC 95 % du nombre de bélugas par BOI selon la cohésion et le dynamisme des groupes pour chaque phase de marée de l'ensemble des données (2003 à 2009).

phase de marée :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
cohésion forte	27,2% ± 4,2%	24,3% ± 3,2%	24,3% ± 2,5%	24,5% ± 2,4%	25,8% ± 2,7%	27,1% ± 2,6%	30,5% ± 2,9%	30,9% ± 3,5%	30,5% ± 4,3%	31,5% ± 3,5%	26,9% ± 4,5%	33,1% ± 4,2%
cohésion modérée	22,8% ± 4,0%	16,7% ± 2,8%	21,1% ± 2,4%	20,5% ± 2,2%	19,9% ± 2,5%	21,1% ± 2,4%	19,3% ± 2,5%	16,4% ± 3,0%	22,3% ± 3,9%	20,0% ± 2,9%	20,3% ± 4,0%	22,0% ± 3,8%
cohésion faible	5,7% ± 5,7%	7,9% ± 2,0%	8,3% ± 1,6%	9,0% ± 1,6%	7,9% ± 1,6%	7,9% ± 1,6%	4,7% ± 1,3%	5,1% ± 1,8%	2,1% ± 1,0%	3,3% ± 1,3%	4,3% ± 2,1%	5,3% ± 2,0%
cohésion nulle	44,3% ± 4,6%	51,1% ± 3,8%	46,3% ± 2,9%	45,9% ± 2,7%	46,4% ± 3,0%	43,8% ± 2,8%	45,3% ± 3,2%	47,6% ± 3,8%	44,7% ± 4,5%	44,9% ± 3,6%	47,6% ± 5,0%	39,5% ± 4,2%
dynamisme fort	0,0% ± 0,0%	0,0% ± 0,0%	0,3% ± 0,1%	0,7% ± 0,2%	0,5% ± 0,2%	0,7% ± 0,2%	0,4% ± 0,1%	0,1% ± 0,1%	1,2% ± 0,5%	0,9% ± 0,4%	0,9% ± 0,5%	0,0% ± 0,0%
dynamisme modéré	9,1% ± 2,6%	8,5% ± 2,4%	10,6% ± 1,8%	13,3% ± 1,4%	11,3% ± 2,0%	12,6% ± 1,9%	13,1% ± 2,3%	9,1% ± 2,4%	10,7% ± 2,8%	11,1% ± 2,4%	11,2% ± 3,5%	12,9% ± 3,0%
dynamisme faible	90,3% ± 2,7%	88,2% ± 2,5%	87,4% ± 1,9%	84,5% ± 2,1%	87,4% ± 2,1%	86,1% ± 2,0%	86,5% ± 2,3%	90,4% ± 2,5%	87,7% ± 3,1%	88,3% ± 2,4%	88,4% ± 3,2%	86,6% ± 3,1%
dynamisme nul	0,6% ± 0,7%	3,2% ± 1,5%	1,6% ± 0,8%	1,5% ± 0,8%	0,9% ± 0,5%	0,6% ± 0,4%	0,2% ± 0,3%	0,4% ± 0,5%	0,9% ± 0,9%	0,1% ± 0,1%	0,5% ± 0,5%	0,6% ± 0,7%

3.6 FACTEURS EXTERNES

3.6.1 Navigation locale

En général, la présence d'au moins une embarcation (autre que les traversiers du Saguenay) a été notée dans 76 % des BOI. Au moins une embarcation motorisée était présente dans 72 % des BOI et au moins une embarcation non motorisée (kayak ou voilier à moteur éteint) dans 30 % des BOI. La composition de la flottille en transit dans l'aire d'étude pendant les périodes d'observation de 2003 à 2009 est présentée dans la figure 41.

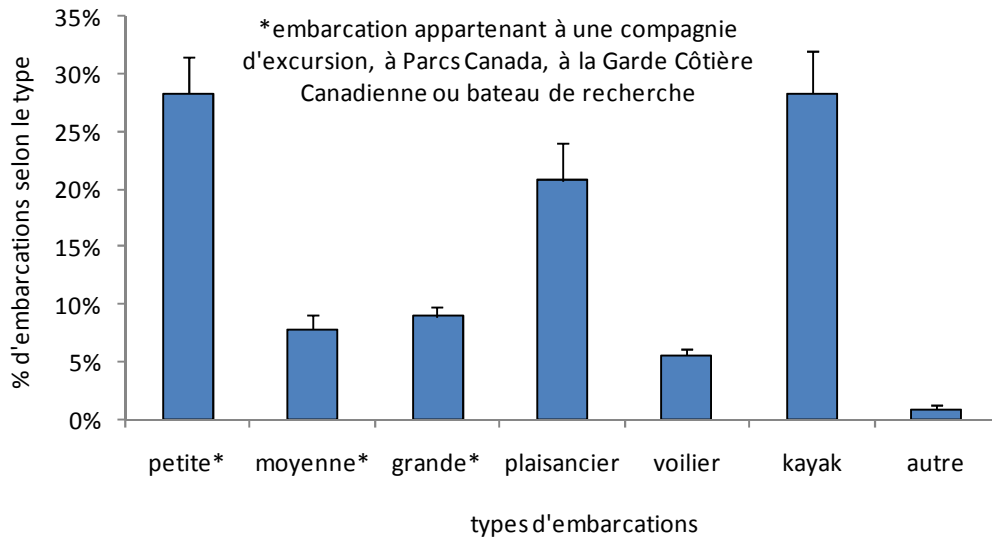


Figure 41 : Proportions moyennes des différents types d'embarcations observées au cours des saisons 2003 à 2009 (moyenne des valeurs annuelles), avec borne supérieure de l'IC 95 %.

Les embarcations des compagnies d'excursion, de Parcs Canada, de la Garde Côtière Canadienne et de recherche, regroupées ensemble dans les catégories « petite », « moyenne » et « grande », représentent 45 % des observations, dont 93 % est attribuable uniquement aux bateaux d'excursion. La catégorie « petite » (< 10 m de longueur) constitue 28 % des observations totales. Les embarcations de plaisance (propulsées par un moteur) représentent 21 % des observations, alors que les voiliers (avec moteur éteint) représentent 6 % des observations. La proportion de kayaks correspond à 28 % des observations. Ils étaient souvent observés en groupes de plusieurs embarcations (3 en moyenne, pouvant aller jusqu'à 35). Toutes les autres catégories autre que traversier (cargo, croisière, moto marine, hydravion, autre embarcation motorisée, autre embarcation non motorisée) représentent, ensemble, moins de 1 % des observations. Au total, la flottille motorisée constitue 66 % des observations. Elle est composée principalement par des embarcations appartenant à des entreprises d'excursion en mer (65 % des embarcations motorisées) et par des bateaux de plaisance (31 %). Les bateaux des entreprises d'excursion en mer de longueur inférieure à 10 m (notamment les pneumatiques) représentent 39 % des embarcations motorisées observées.

L'achalandage maritime varie légèrement d'une année à l'autre (tableau 15 et figure 42), de façon significative (KW, $p < 0,0001$). Le nombre moyen d'embarcations par BOI fluctue entre 3,2 (en 2004) et 4,0 (en 2009). Pour l'ensemble des années (de juin à août 2003 à 2009), le nombre moyen d'embarcations par BOI obtenu de la série de moyennes annuelles est de $3,5 \pm 0,2$. Le nombre maximal d'embarcations observées dans un même BOI est de 34 (observé en août 2004 et 2009). En considérant uniquement les embarcations motorisées, le maximum observé est de 23 embarcations par BOI (en août 2009, alors que 3 baleines à bosse étaient entrées dans le fjord). La proportion d'embarcations motorisées et non motorisées est similaire d'une année à l'autre, sauf en 2003, où il y a moins d'embarcations non motorisées (figure 42). En moyenne, les embarcations motorisées représentent 66 % des bateaux observés, alors que les embarcations non motorisées représentent 34 % des observations.

La figure 43 illustre la densité moyenne d'embarcations pour chaque mois dans l'ensemble des données. L'achalandage maritime augmente progressivement de mai à août, passant de 1,0 à 4,5 embarcations/BOI en moyenne. Le nombre moyen d'embarcations diminue à 2,4 en septembre. Les embarcations non motorisées (notamment les kayaks et les voiliers) sont plus fréquentes en juillet et août ($> 1,3$ bateaux/BOI) comparativement à mai et septembre ($< 0,6$ bateaux/BOI).

Une variation plus marquée de l'achalandage maritime s'observe pendant la journée (figure 44). En général, le nombre moyen d'embarcations par BOI est très bas avant 9h ($< 0,8$). À partir de 9h jusqu'à 17h, sa valeur augmente de façon très marquée ($> 3,2$). Pendant cette période, on a noté la présence d'au moins une embarcation dans 88 % des BOI et d'au moins une embarcation motorisée dans 84 % des BOI. On observe des valeurs maximales à 13h et à 15h (5,3). À partir de 17h, le nombre moyen d'embarcations diminue (2,9 de 17h à 19h et 1,5 dès 19h). Le trafic motorisé présente plusieurs pics d'intensité : de 9h à 10h (2,8 bateaux/BOI), de 13h à 14h (3,4 bateaux/BOI) et de 15h à 17h (entre 3,2 et 3,4 bateaux/BOI). Le nombre de bateaux motorisés diminue sensiblement à 10h et à 14h (environ 2 bateaux/BOI) et ré-augmente entre 11h et 13h (2,6).

Tableau 15 : Nombre moyen d'embarcations par BOI de 2003 à 2009 (entre juin et août) et statistiques descriptives pour les embarcations de tout genre et par type de propulsion.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
nombre moyen d'embarcations par BOI \pm intervalle de confiance	3,4 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2	3,8 \pm 0,2	3,4 \pm 0,2	3,3 \pm 0,2	3,7 \pm 0,2	4,0 \pm 0,2
nombre total d'embarcations observées	5439	6186	5435	6880	5039	4713	6191
nombre maximal d'embarcations par BOI	23	34	30	22	22	29	34
nombre maximal d'embarcations motorisées par BOI	21	14	17	21	19	13	23
nombre maximal d'embarcations non motorisées par BOI	20	32	26	18	18	27	22

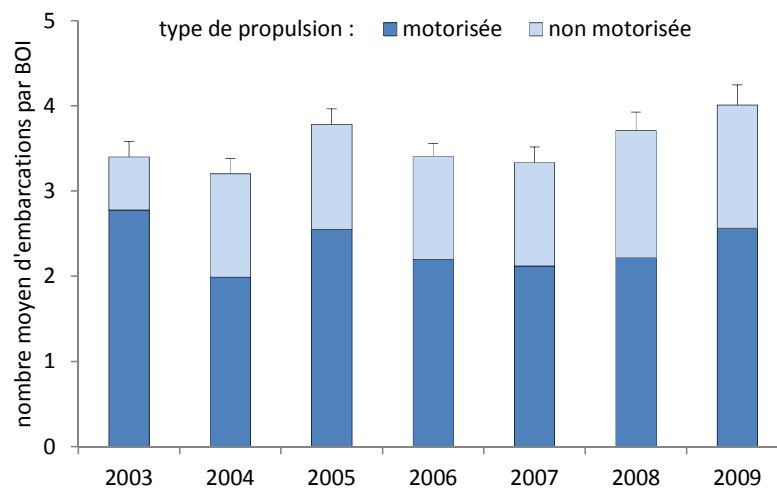


Figure 42 : Nombre moyen d'embarcations par BOI pour chaque saison de juin à août 2003 à 2009, avec borne supérieure de l'IC 95 % et proportion d'embarcations selon le type de propulsion.

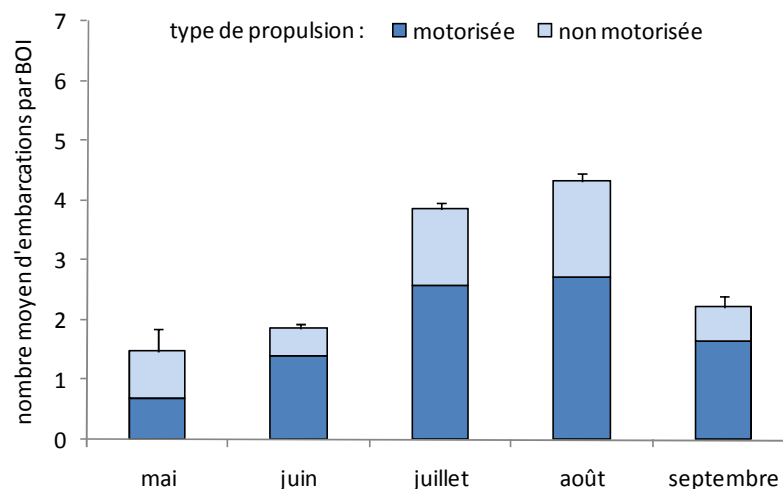


Figure 43 : Nombre moyen d'embarcations par BOI pour chaque mois de mai à septembre 2003 à 2009 (moyenne des valeurs annuelles), avec borne supérieure de l'IC 95 % et proportion d'embarcations selon le type de propulsion.

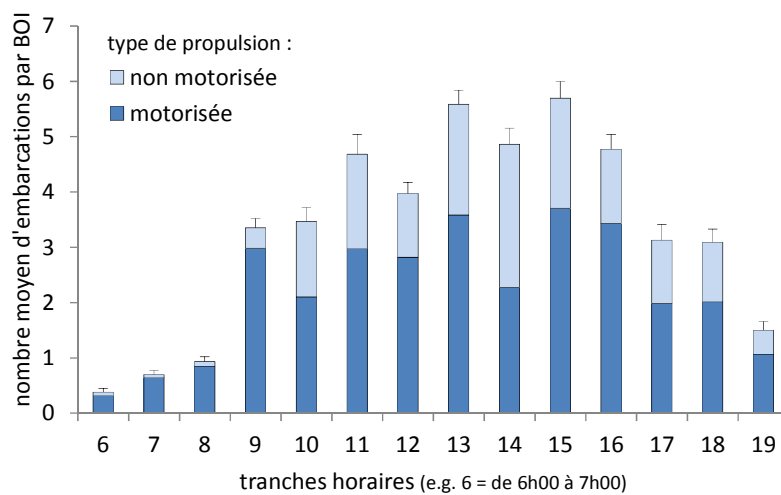


Figure 44 : Évolution du nombre moyen d'embarcations par BOI dans l'ensemble des données (juin à août 2003 à 2009), présentée par tranches horaires, avec borne supérieure de l'IC 95 % et proportion d'embarcations par type de propulsion.

Les pics de l'achalandage motorisé sont particulièrement prononcés au mois de juillet et août, où le nombre moyen d'embarcations motorisées par BOI oscille autour de 4 (entre 3,9 et 4,1 avec IC 95 % $\leq 0,2$) entre 13h et 14h et entre 15h et 17h. Les embarcations non motorisées sont, de façon générale, plus nombreuses entre 10h et 19h (moyenne $> 1,0$ bateau/BOI). Les densités maximales d'embarcations non motorisées s'observent entre 10h et 11h et entre 14h et 16h (entre 1,7 et 2,4 bateaux/BOI). Avant 9h, la densité d'embarcations non motorisées est presque nulle ($< 0,1$). La densité moyenne d'embarcations par mois et par plages horaires de chaque saison (2003 à 2009) est présentée à l'annexe IV. Les patrons annuels varient peu des patrons généraux décrits ci-dessus.

La figure 45 illustre le nombre moyen de départs horaires des traversiers Tadoussac/Baie-Sainte-Catherine pour chaque plage horaire d'observation, de la fin avril à la fin octobre. Un seul traversier est en fonction entre 6h et 8h, effectuant 3 départs/heure (un départ aux 20 minutes en alternant les rives). Un deuxième traversier s'ajoute à 8h20, doublant le nombre de départs (6 départs/heure) jusqu'en fin de journée (deux départs aux 20 minutes en simultané des deux rives). Du 18 juin au 6 septembre, un troisième traversier entre en fonction de 10h30 à 16h30, augmentant à 9 le nombre de départs horaires (départs décalés de chaque rive aux 13 minutes).

Les proportions d'embarcations selon le type d'activité sont reportées dans le tableau 16. En moyenne, 86 % des embarcations observées de 2003 à 2009 sont en déplacement. L'observation dirigée de bélugas est pratiquée, en moyenne, seulement par 2 % des embarcations, tandis que l'observation d'autres espèces de cétacés est pratiquée par 3 % des bateaux. En 2004, l'observation de bélugas est plus fréquente (5 % des embarcations), alors que l'observation d'autres espèces de cétacés est plus courante en 2003 et 2009 (5 % également). Les bateaux immobiles représentent, en moyenne, 9 % des observations.

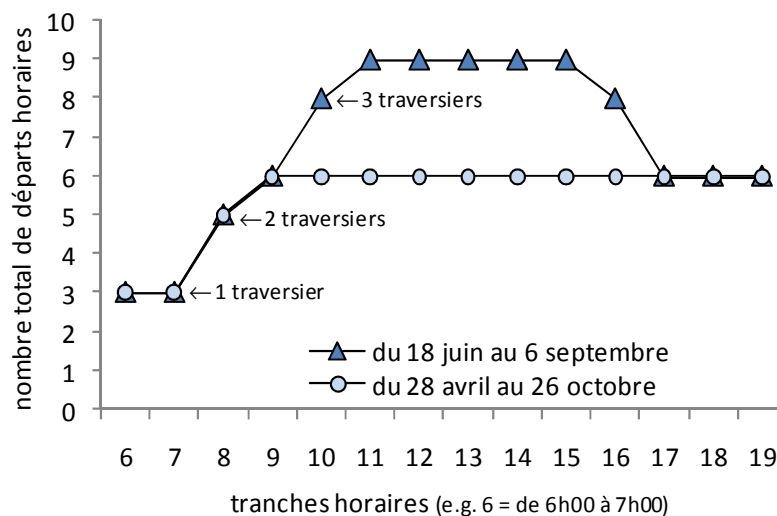


Figure 45 : Nombre départs horaires des traversiers Tadoussac–Baie-Sainte-Catherine depuis les deux rives pour chaque tranche horaire entre 6h et 20h, du 28 avril au 26 octobre 2003 à 2009.

La figure 46 présente la variation de l'abondance moyenne de bélugas par BOI (corrigée pour la phase de marée) selon les classes de densité d'embarcations (de tous genres et motorisées uniquement). La variation est significative dans les deux cas (KW, $p < 0,0001$). L'abondance moyenne de bélugas est plus faible en absence de bateaux ($< 3,3$ individus/BOI), elle augmente en présence de 1 et 2 bateaux/BOI (jusqu'à 4,5 individus/BOI), puis elle diminue progressivement jusqu'aux plus grandes densités de bateaux ($< 3,3$ individus/BOI). Le test de comparaison multiple non paramétrique révèle que l'abondance moyenne de bélugas ne diffère pas entre les catégories de densité nulles et maximales de bateaux (de tous genres ou motorisés). Par contre, l'abondance moyenne de bélugas en absence de bateaux ou lors de densités maximales de bateaux diffère significativement de l'abondance moyenne de bélugas en présence de 1 à 4 bateaux de tous genres ou de 1 à 3 bateaux motorisés. Les tests ont donné les mêmes résultats avec les abondances de bélugas observées (non corrigées pour la marée) et ne sont pas présentés. Par ailleurs, afin d'éliminer ce facteur confondant de la marée, il est préférable de réaliser l'analyse sur les valeurs corrigées, comme nous l'avons fait.

Tableau 16 : Proportion moyenne d'embarcations par type d'activité par année et pour l'ensemble des données (moyenne des séries annuelles) et IC 95 %.

activité des embarcations :	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	moyenne ± intervalles de confiance
immobile	6,8%	10,3%	11,7%	5,4%	8,9%	6,2%	13,7%	9,0% ± 2,3%
déplacement	85,8%	81,0%	82,5%	93,2%	86,2%	91,3%	78,3%	85,5% ± 4,0%
observation de bélugas	2,3%	5,1%	2,4%	1,3%	0,7%	1,1%	2,5%	2,2% ± 1,1%
observation d'autres espèces	5,1%	3,6%	3,4%	0,2%	4,2%	1,5%	5,4%	3,3% ± 1,4%

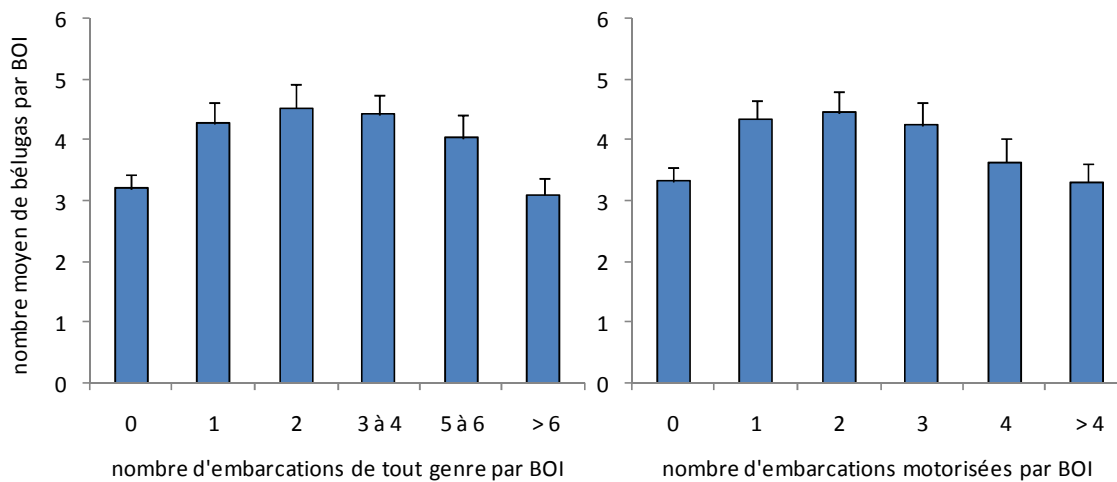


Figure 46 : Abondance moyenne de bélugas par BOI (corrigée pour la phase de marée) selon les classes de densité d'embarcations de tous genres (à gauche) et motorisées uniquement (à droite) pour l'ensemble des données 2003 à 2009, avec borne supérieure de l'IC 95 %.

Tableau 17 : Valeurs du coefficient de Spearman pour les corrélations significatives entre le nombre de bateaux (de tous genres et motorisés) et le nombre de bélugas, la proportion et le nombre d'individus par classe d'âge (dans un rayon de 600 m de l'observateur), les proportions des types activité, du degré de cohésion et de dynamisme par BOI.

ρ de Spearman significatifs (n.s. = non significatif, $\alpha = 0,05$)	nombre de bateaux	nombre de motorisés
nombre de bélugas	n.s.	n.s.
% adultes (nombre)	n.s. (-0,04)	n.s. (-0,03)
% juvéniles (nombre)	0,07 (n.s.)	0,06 (n.s.)
% veaux (nombre)	-0,11 (-0,06)	-0,10 (-0,05)
% déplacement	0,06	0,07
% surplace	n.s.	n.s.
% alimentation	-0,08	-0,09
% cohésion nulle	-0,09	-0,08
% cohésion faible	n.s.	n.s.
% cohésion modérée	n.s.	n.s.
% cohésion élevée	0,06	0,06
% dynamisme nul	0,05	0,05
% dynamisme faible	0,09	0,08
% dynamisme modéré	-0,11	-0,10
% dynamisme élevé	n.s.	n.s.

Le test de corrélation non paramétrique de Spearman a révélé des corrélations significatives entre le nombre de bateaux (de tous genres et motorisés uniquement) et les proportions d'individus selon la classe d'âge, le type d'activité, le degré de cohésion et de dynamisme des groupes à chaque BOI (tableau 17). Cependant, les valeurs du coefficient de corrélation sont basses ($\rho < 0,12$). Les corrélations plus fortes sont celles, négatives, entre le nombre d'embarcations et le % de veaux, le % de bélugas en alimentation, le % d'individus avec cohésion nulle ou dynamisme modéré. La proportion d'adultes ne montre pas de corrélation significative avec l'achalandage maritime alors que le nombre d'adultes

en montre une négative mais faible ($\rho < -0,05$). Il n'y a pas de corrélation significative entre le nombre d'embarcations et le nombre total de bélugas à chaque BOI.

Le test de corrélation non paramétrique de Spearman pour un effet du nombre d'embarcations a également été effectué sur les séries de moyennes horaires, journalières et hebdomadaires du nombre de bélugas par BOI (nombre total observé, nombre total corrigé pour la marée, nombre d'adultes, de juvéniles et de veaux) et du nombre moyen d'embarcations (de tous genres et uniquement motorisés). Aucune corrélation significative n'a été trouvée entre les séries de moyennes journalières ou hebdomadaires de bélugas et de bateaux (ni en prenant en compte un pas de retard d'un jour ou d'une semaine). Dans les séries de moyennes horaires, les seules corrélations significatives sont celles entre le nombre de veaux et le nombre de bateaux (de tous genres et uniquement motorisés), en prenant en compte un effet retardé d'une heure ou non ($-0,16 < \rho < -0,14$; $p < 0,0001$), et celles entre le nombre de bélugas corrigé pour la marée et le nombre de bateaux (de tous genres et uniquement motorisés) en tenant compte d'un pas de retard d'une heure ($-0,09 < \rho < -0,08$; $p < 0,007$).

3.6.2 Autre espèces de cétacés

De 2003 à 2009, l'espèce de cétacé la plus fréquente dans l'aire d'étude, à part le béluga, est le petit rorqual (figure 47). Toutefois, l'abondance moyenne de petits rorquals (0,3 individus/BOI, pour un total de 3 143 individus observés) est largement inférieure à celle de béluga (3,9 individus/BOI, pour un total de 49 257 individus observés). On observe une diminution progressive du nombre moyen de petits rorquals de 2003 à 2006 (passant de 0,4 à 0,04 individus/BOI) puis un pic en 2007 (0,5 individus BOI). En 2008, le nombre de petits rorquals diminue (0,08 individus/BOI) alors qu'il ré-augmente en 2009 (0,2 individus/BOI). La variation interannuelle du nombre moyen de petits rorquals est significative (KW, $p < 0,0001$). Dans la plupart des observations de petits rorquals (76 %) il y a un seul individu par BOI (voir annexe V). Les observations de 2 ou 3 individus par BOI

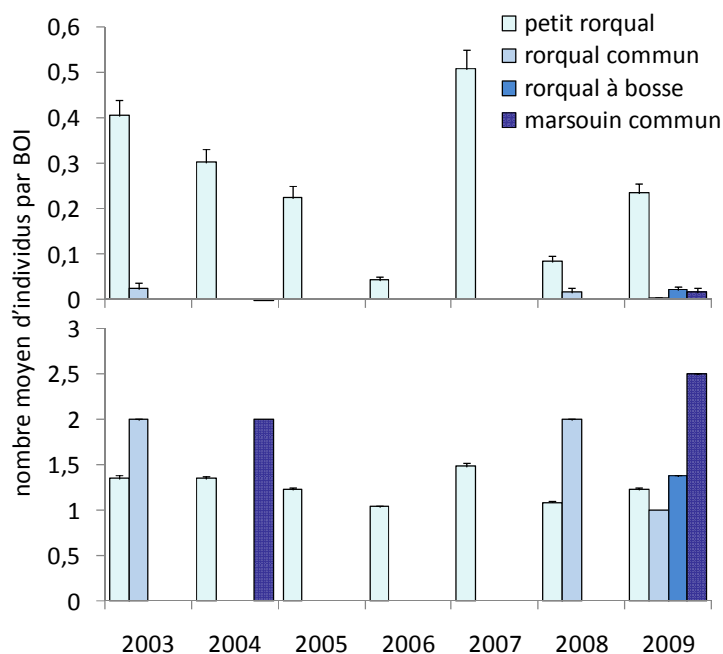


Figure 47 : Abondance moyenne par BOI de cétacés autre que bélugas observés de 2003 à 2009 (en haut) et nombre moyen d'individus présents simultanément à chaque BOI lorsque d'autres cétacés étaient présents (en bas), avec borne supérieure de l'IC 95 %, pour chaque année.

sont moins fréquentes (18 % et 5 % respectivement). Les observations de plus de 3 individus par BOI sont rares (1,3 %).

Les autres espèces de cétacés observées entre 2003 et 2009 sont le rorqual commun (76 observations), le rorqual à bosse (51 observations) et le marsouin commun (42 observations) (voir annexe V). Les observations de ces espèces sont toutefois occasionnelles (moyennes annuelles inférieures à 0,025 individus/BOI). Des rorquals communs ont été observés lors de 20 BOI en 2003 (les 18, 20 juin et 8, 9 juillet), 15 BOI en 2008 (les 11 et 12 septembre, figure 34) et 16 BOI en 2009 (le 23 août). Des rorquals à bosse ont été observés lors de 37 BOI uniquement en 2009 (les 3, 4, 5 et 18 août). Des marsouins communs ont été observés une seule fois en 2004 (le 7 août) et lors de 16 BOI en 2009 (du 27 au 29 juillet et les 3 et 11 août).

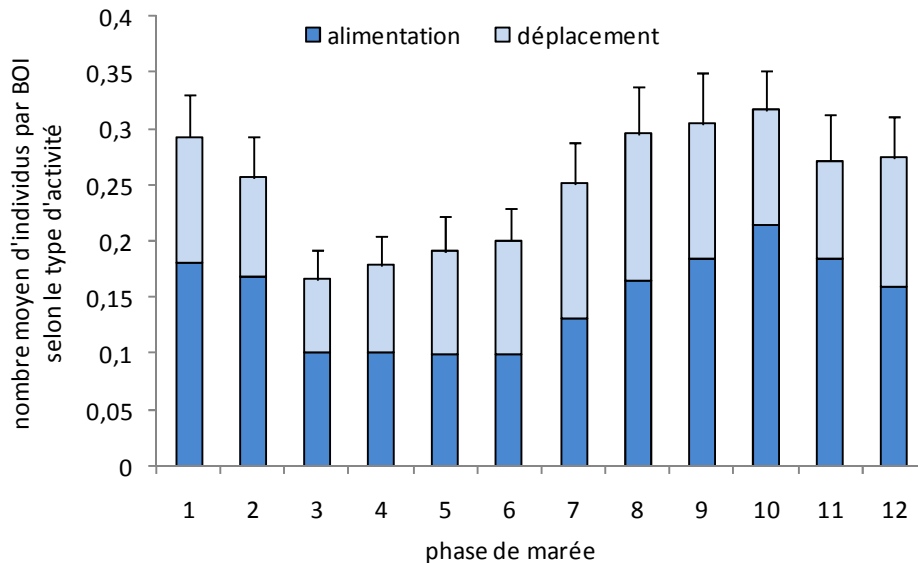


Figure 48 : Évolution de l'abondance moyenne de petits rorquals par BOI au cours du cycle de marée (divisé en 12 phases) pour l'ensemble des données (2003 à 2009), avec borne supérieure de l'IC 95 %, et des proportions d'individus selon le type d'activité.

Le nombre moyen de petits rorquals par BOI varie de façon significative (KW, $p < 0,0001$) au cours des 12 phases du cycle de marée (figure 48). En particulier, l'abondance moyenne de petits rorquals des phases 3 à 7 (0,20 individus/BOI) diffère significativement de celle des phases 1, 2, 8 à 12 (0,29 individus/BOI, KW, $p < 0,0001$). L'abondance diminue au cours des trois premières heures du flot (passant de 0,29 à 0,17 individus/BOI), puis elle augmente progressivement jusqu'à la phase 10 (0,32 individus/BOI) et diminue à nouveau vers la fin du jusant (0,27 individus/BOI). En général, la proportion d'individus en alimentation est plus grande que celle d'individus en déplacement (59 % vs 41 %). Seulement aux phases 5 et 6 les deux proportions sont proches de 50 %. Les plus grandes proportions d'individus en alimentation s'observent pendant les phases 2, 10 et 11 (> 65 %). Le nombre moyen d'individus en alimentation est plus grand pendant les phases 1 et 2 (> 0,17 individus/BOI) ; il est stable de la phase 3 à la phase 6 (0,10 individus/BOI) puis il augmente jusqu'à la phase 10 (0,21 individus/BOI) et diminue progressivement par la suite (jusqu'à 0,16).

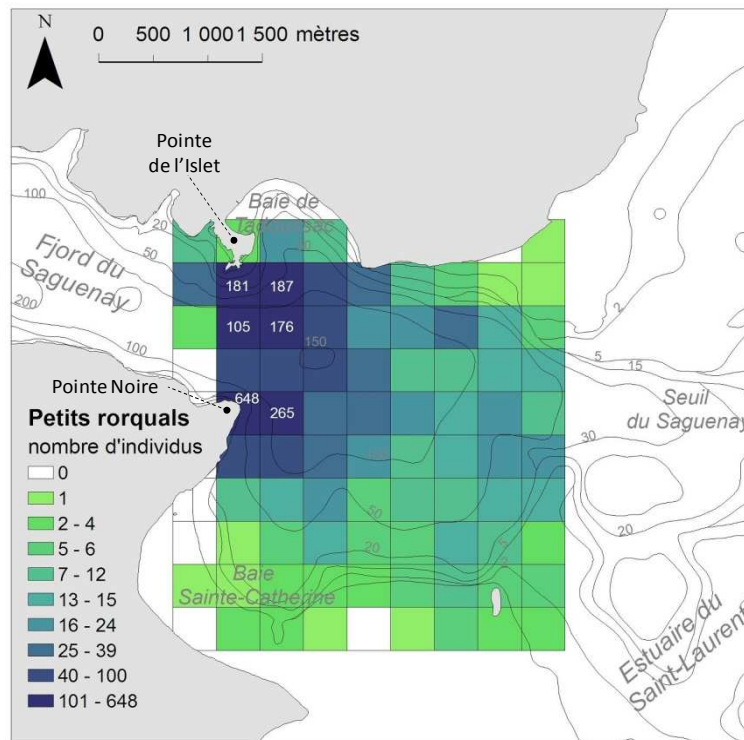


Figure 49 : Distribution spatiale de l'ensemble des observations de petits rorquals (nombre d'individus par quadrat) de 2003 à 2009. Les densités sont classées par déciles. Le nombre d'individus est indiqué en blanc dans les quadrats de densité maximale

La figure 49 illustre la distribution spatiale des petits rorquals pour l'ensemble des observations de 2003 à 2009. Les plus grands nombres sont observés dans un rayon d'environ 1000 m autour de la Pointe Noire, avec deux noyaux plus intenses devant Pointe Noire (2 quadrats avec 648 et 265 individus) et devant la Pointe de l'Islet (4 quadrats avec 105 à 187 individus). Le test de corrélation de non paramétrique de Spearman indique qu'il n'y a aucune corrélation significative entre le nombre de bélugas et le nombre de petits rorquals par BOI dans l'ensemble des données ($p = 0,8$). Des faibles corrélations significatives ont été observées uniquement dans les années 2003 ($\rho = -0,05$, $p = 0,042$), 2007 ($\rho = 0,07$, $p = 0,008$) et 2008 ($\rho = 0,10$, $p < 0,0001$).

CHAPITRE 4

DISCUSSION

4.1 PARTICULARITES ET INTERETS DE LA SERIE PLURIANNUELLE D'OBSERVATIONS

Les observations effectuées dans le cadre de cette étude ont permis d'établir une large banque de données récentes sur l'utilisation d'un habitat spécifique par le béluga du Saint-Laurent. L'embouchure du Saguenay est un habitat particulier par ses caractéristiques océanographiques et son emplacement. Elle est au carrefour entre trois écosystèmes différents (fjord, estuaire maritime et estuaire moyen) au centre de la zone d'estivage des bélugas (Mosnier *et al.* 2010 et références citées) et fait partie des aires que les bélugas du Saint-Laurent fréquentent plus intensivement (Pippard et Malcolm 1978; Michaud 1993) et où ils résident plus longtemps (Lemieux-Lefebvre *et al.* 2012). Ce secteur est également inclus dans l'habitat considéré essentiel à la survie et au rétablissement de la population de bélugas du Saint-Laurent (MPO 2012).

La présente étude constitue un travail unique sur l'utilisation d'un habitat par le béluga du Saint-Laurent, tant par la durée que par l'intensité de l'échantillonnage effectué suivant un plan systématique. Pendant 7 étés consécutifs, pour un minimum de 10 semaines par année et une moyenne de 5 jours par semaine et de 6 heures par jour, l'embouchure du Saguenay a été balayée visuellement plus de 12 700 fois et pendant plus de 1 800 heures d'observation en conditions de bonne visibilité. La fréquentation de l'embouchure du Saguenay pendant l'été a ainsi été documentée de façon intensive et systématique, recueillant des informations sur la distribution spatio-temporelle, la taille et la structure d'âge des troupes visitant le secteur ainsi que l'activité, l'orientation spatiale et le degré de cohésion et de dynamisme des groupes composant les troupes. Au total, 17 331 groupes de bélugas (49 257 individus) ont été détectés et classifiés selon ces critères,

décrivant ainsi l'utilisation de cet habitat par le béluga sur différentes échelles temporelles (interannuelle, mensuelle, hebdomadaire, circadienne, tidale) et incluant la présence d'autres espèces de cétacés ainsi que l'activité anthropique (trafic maritime). Même si l'embouchure du Saguenay a déjà été le site d'études sur le béluga du Saint-Laurent (c.f. revue de Mosnier *et al.* 2010), aucune n'a documenté avec autant d'effort, structuré selon un plan d'échantillonnage systématique couvrant un si large continuum d'échelles temporelles, l'utilisation de cet habitat, ni d'ailleurs d'autres habitats fréquentés par cette population.

Des informations sur l'utilisation de l'embouchure du Saguenay par le béluga du Saint-Laurent et sur la composition des groupes ont été rapportées par Pippard et Malcolm (1978), Laurin (1982) et Caron et Sergeant (1988) à partir d'observations depuis la rive à Pointe Noire. D'autres observations sur l'utilisation de l'habitat ont été effectuées dans ce secteur et ailleurs depuis des petites embarcations ou d'aéronefs, ou par l'application d'émetteurs radio sur les animaux (Pippard et Malcolm 1978; Laurin 1982; Michaud 1993; Lemieux-Lefebvre *et al.* 2012). Les différentes méthodes employées rendent cependant difficile la comparaison des données. D'autres études ont utilisé la méthodologie de mesures répétées à partir d'un point d'observation pour les secteurs de la baie Sainte-Marguerite (Michaud 1992; Chadenet 1997; Busque 2006), de l'Île-aux-Lièvres (Lesage et Kingsley 1995; Bédard *et al.* 1997) et de Gros Cacouna (PESCA Environnement 2006), mais pour des périodes plus courtes, variant de quelques semaines à quelques étés. Les relevés aériens suivant un plan d'échantillonnage systématique effectués depuis 1988 (Gosselin *et al.* 2007; Hammill *et al.* 2007) permettent une cartographie de la répartition de la population dans l'habitat à un temps donné, en plus d'une estimation de la taille de la population. Cependant, l'instantanéité de la mesure et la faible récurrence temporelle de ces relevés (n = 36 entre 1988 et 2009) (c.f. Mosnier *et al.* in prep., MPO, Institut Maurice-Lamontagne, Mont-Joli, Qc) ne permet pas un suivi de l'utilisation d'un habitat et de la variabilité dans le temps tel que celui de la présente étude.

La fiabilité de la méthode utilisée dans la présente étude a été prouvée par les tests d'observation simultanée à deux observateurs. Ces tests ont permis de valider l'absence de biais significatif relié à la capacité de l'observateur de détecter, positionner et classifier les bélugas. Aucun biais significatif dans la distance des bélugas par rapport au point d'observation n'était présent à l'échelle de l'aire d'étude, la variation notée d'une rive à l'autre étant reliée à une distribution non uniforme des bélugas dans l'aire d'étude. L'élévation du poste d'observation de Pointe Noire (34 m) offre à l'observateur une résolution angulaire sur le plan d'eau suffisante pour détecter des bélugas à plusieurs kilomètres de distance. La distance semble par contre jouer un rôle important dans l'attribution des classes d'âge, particulièrement celles de juvéniles et de veaux, dont la couleur grisâtre se démarque moins bien dans les eaux brunes de surface du Saguenay que le blanc caractérisant les adultes. En effet, les proportions de juvéniles et de veaux observés diminuent brusquement avec la distance alors que les proportions d'individus de classe d'âge indéterminée et d'adultes augmentent distinctement. En particulier, les proportions des classes d'âge diffèrent significativement lorsque les groupes observés se trouvent à une distance supérieure à 600 m de l'observateur. Michaud (1990) avait obtenu des résultats similaires, évaluant que la capacité de distinguer des individus gris et des individus blancs à partir d'une embarcation était uniforme jusqu'à 400 m, puis elle décroissait rapidement avec la distance. La plus grande élévation de notre point d'observation par rapport au plan d'eau (i.e. résolution angulaire) permet une meilleure portée de distinction de la couleur. La structure d'âge des troupeaux présentée dans cette étude a donc été dérivée des observations effectuées à l'intérieur d'un rayon de 600 m autour de Pointe Noire. Ainsi, les proportions et les abondances d'adultes, juvéniles et veaux demeurent une estimation fondée sur les proportions observées autour de Pointe Noire, jusqu'à environ la moitié de la largeur du fjord. Cette estimation assume que la structure d'âge des groupes est indépendante de la distribution spatiale moyenne des bélugas à l'intérieur de l'embouchure du Saguenay. Il est possible que des secteurs de l'embouchure soient fréquentés de préférences par certaines classes d'âge ou évités par d'autres. Par exemple, les groupes de femelles avec veaux pourraient préférer les zones où les courants sont moins forts en raison

des capacités natatoires réduites des nouveau-nés, tel qu'observé chez les marsouins communs en Écosse (Pierpoint 2008). Ou encore, les groupes de femelles avec veaux pourraient éviter les eaux très froides (e.g. l'intrusion d'eau froide de l'estuaire lors du flot) afin de réduire le stress thermique chez les nouveau-nés (Hansen 1987). Cependant, compte tenu de l'hétérogénéité des conditions hydrodynamiques à fine-échelle dans l'aire d'étude et de leur variation marquée au cours du cycle semi-diurne de marée (Cloutier 2009), nous ne croyons pas que la distribution spatiale moyenne des classes d'âge des bélugas soit systématiquement biaisée par de tels processus.

Un autre biais pouvant affecter les données de cette étude découle de la méthode utilisée pour le positionnement des bélugas (jumelles dotées de télémètre à réticule et boussole). En effet, la précision du positionnement se détériore en fonction de la distance, particulièrement pour les observations au-delà de 3000 m. L'exclusion des données de distance supérieure à 3000 m dans l'analyse spatiale a permis de maintenir l'erreur de positionnement inférieure à 300 m et de couvrir toute la partie aval du bassin externe du fjord, depuis la zone des traversiers jusqu'au seuil (exclus). L'imprécision du positionnement a été compensée par l'utilisation d'une grille d'analyse spatiale à résolution plus basse (400 x 400 m) mais suffisante pour faire ressortir des patrons d'utilisation spécifiques à certaines périodes du cycle de marée.

Pour ce qui concerne le dénombrement de bélugas effectué à chaque balayage visuel, les observations réalisées ne représentent pas les densités totales d'individus parce qu'une partie de ceux-ci sont en plongée et non détectables. Pour les observations aériennes la fraction non détectable d'individus en plongée dans le Saint-Laurent a été estimée à 0,52 (Kingsley et Gauthier 2002). Celle-ci varie en fonction de la turbidité des eaux, la détectabilité étant proportionnelle à la profondeur de la mesure de Secchi, qui varie entre 1,5 et 11,6 m dans l'aire totale de distribution des bélugas dans le Saint-Laurent. La turbidité des eaux du Saguenay se situe à l'intérieur de cette fenêtre (Côté et Lacroix 1979). La durée d'observation d'une même aire est possiblement légèrement plus longue lors de nos observations que lors des survols aériens. Cependant, l'angle rasant de notre mesure ne

permet de voir les animaux que lorsqu'ils sont en surface, alors que par survol aérien ils demeurent détectables même sous la surface jusqu'à une certaine profondeur. Par conséquent la fraction submergée dans nos observations est possiblement voisine de celle estimée par Kingsley et Gauthier (2002). Pour une estimation précise d'individus dans la région cette inconnue devrait être levée par des mesures appropriées pour corriger les observations pour la fraction submergée.

4.2 CONDITIONS D'UTILISATION MOYENNES DE L'EMBOUCHURE DU SAGUENAY

4.2.1 Occurrence de bélugas et caractéristiques des troupeaux

Le suivi estival pluriannuel de l'embouchure du Saguenay a confirmé que les bélugas fréquentent cet habitat de façon très régulière de mai à septembre, étant présents presque à chaque jours (dans 83 % des jours d'observation pour l'ensemble des années et jusqu'à 100 % des jours dans une année donnée) et pendant 51 % du temps en moyenne. D'une année à l'autre, cette présence varie entre un minimum de 15 % du temps (été 2003) et un maximum de 77 % (été 2005) et peut atteindre des pics mensuels de 88 % (septembre 2008). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Michaud (1993), qui avait observé la présence de bélugas à l'embouchure du Saguenay pendant 50 % des survols aériens effectués entre 1987 et 1992, bien que l'effort de cette étude soit faible ($n = 9$). À la baie Sainte-Marguerite, plus en amont dans le Saguenay, les bélugas étaient présents en moyenne 35 % du temps (668 h d'observation) entre juillet et septembre 1993 (Chadenet 1997) et 65 % du temps (807 h d'observation) entre juin et août 2003 à 2005 (Busque 2006). Dans le secteur de Gros Cacouna ils étaient présents 45 % du temps (342 h d'observation) en juin, juillet et août 2005 (PESCA Environnement 2006), alors qu'à l'embouchure du Saguenay ils étaient présents 77 % du temps (171 h d'observation) au cours de la même période (présent travail). À la passe de l'Île-aux-Lièvres en mai et juin

1996 Bédard et collaborateurs (1997) ont noté une présence de bélugas pendant 70 % du temps (294 h d'observation).

Les troupes qu'on observe à l'embouchure du Saguenay sont composés en moyenne de 70,0 % d'individus adultes, 23,8 % de juvéniles et 6,2 % de veaux (= nouveau-nés et jeunes à leur deuxième été) entre juin et août. Lors de trois campagnes de recensement systématiques par bateau effectuées aux étés 1989, 1990 et 1991, Michaud (1993) avait trouvé que le Saguenay et son embouchure étaient fréquentés par trois types de troupes : les troupes d'adultes (composés de < 10 % de juvéniles), les troupes d'adultes accompagnées de juvéniles (composés de > 30 % de juvéniles) et les troupes mixtes (composés de 10 à 30 % de juvéniles). La proportion moyenne de juvéniles que nous avons observée s'insère dans les valeurs typiques des troupes mixtes. Cependant, en considérant que certains individus que nous avons classifiés comme « veaux » (notamment, ceux qui ne sont pas des nouveau-nés) auraient été classifiés comme « juvéniles » selon les critères utilisés par Michaud (1993), la proportion de juvéniles pourrait alors approcher et même dépasser légèrement la valeur de 30 %. La proportion de juvéniles serait donc intermédiaire entre celle définissant les troupes mixtes et celle utilisée pour définir les troupes d'adultes accompagnés de juvéniles. En considérant que les trois types d'assemblages peuvent fréquenter le secteur de l'embouchure du Saguenay, nos résultats indiquent que, dans ce secteur, les troupes mixtes et les troupes d'adultes accompagnés de juvéniles sont plus fréquents et/ou comptent un plus grand nombre d'individus que les troupes d'adultes. Cela concorde avec les observations de Michaud (1994), qui indique qu'en moyenne les troupes d'adultes sont significativement plus petits que ceux d'adultes accompagnés de juvéniles (presque 2 fois plus gros) et des troupes mixtes (presque 3 fois plus d'individus). En effet, nos données indiquent que la proportion d'adultes tend à décroître dans les plus gros troupes, contrairement aux proportions de juvéniles et de veaux qui tendent à augmenter avec le nombre d'individus par troupe ($p < 0,05$, test de corrélation de Spearman).

Une étude menée à la baie Sainte-Marguerite pendant une période commune à notre suivi et avec un effort similaire a permis d'estimer la proportion moyenne de juvéniles et de

veaux à 30 % en 2003, 41 % en 2004 et 42 % en 2005 (Busque 2006). Ces proportions sont supérieures à celles observées aux mêmes années à l'embouchure du Saguenay, soit 27 %, 24 % et 32 % respectivement. Ces observations indiquent que la fréquentation de ces deux aires diffère sensiblement selon le type de troupeau, notamment par une fréquentation plus forte de la baie Sainte-Marguerite par les troupeaux d'adultes avec jeunes comparativement à l'embouchure ou, à l'inverse, une fréquentation plus forte de l'embouchure du Saguenay par les troupeaux d'adultes comparativement à la baie Sainte-Marguerite.

Les caractéristiques des groupes de bélugas observés à l'embouchure du Saguenay varient selon leur taille et la composition d'adultes et de jeunes. Les groupes ont tendance à être plus serrés (individus corps à corps) en présence de juvéniles et de veaux, alors qu'ils ont tendance à se disperser (plus d'une longueur de corps entre les individus) lorsqu'ils sont composés d'une plus grande proportion d'adultes. La plus grande cohésion des groupes avec jeunes pourrait découler du lien existant entre une mère et son petit, qui s'éloigneraient rarement l'un de l'autre pendant la période d'allaitement et de soins des jeunes. Dans les plus gros troupeaux, on observe une cohésion accrue entre les individus (inférieure ou égale à une longueur de corps) et un dynamisme plus prononcé, alors que dans les plus petits troupeaux les individus ont tendance à se disperser (plus d'une longueur de corps) et à avoir un dynamisme plus faible. Ce fait pourrait dériver des interactions sociales entre des individus qui tiennent à rester en contact physique, visuel ou acoustique (Simard *et al.* 2010) rapproché.

La taille moyenne des troupeaux que nous avons observés à l'embouchure du Saguenay est de 7,7 individus (BOI avec présence de bélugas, $n = 5\,395$), sans tenir compte des individus en plongée. Elle varie entre 6,4 et 9,8 selon les années ($n = 311$ à $1\,203$). Si on appliquait le facteur de correction de 209 % utilisé pour les dénombrements par survol aérien dans l'estuaire (Kingsley et Gauthier 2002), la taille moyenne des troupeaux serait alors de 16,1 individus (variant de 13,4 à 20,5 selon les années). Cette estimation se rapproche des résultats obtenus par Michaud (1993), qui avait observé, lors d'une série pluriannuelle de 9 survols aériens suivant des transects préétablis et effectuant des cercle au-dessus des troupeaux de bélugas repérés, une taille moyenne de 18 individus pour les

troupeaux à l'embouchure du Saguenay. Les estimés de la taille moyenne des troupeaux fréquentant le Saguenay varient entre 16 individus (survolés aériens, n=13 troupeaux) et 20 individus (patrouilles en bateau, n = 118 troupeaux) (Michaud 1993). Gosselin et collaborateurs (2007) avaient dénombré une moyenne de 26 bélugas dans le fjord du Saguenay (étendue de 0 à 94 individus) lors de 27 survols aériens effectués entre 1988 et 2005. Ce nombre total d'individus dans le Saguenay peut toutefois représenter plusieurs troupeaux. La taille moyenne estimée des troupeaux fréquentant la baie Sainte-Marguerite varie selon les études entre 18 individus (Michaud 1993), 27 individus (Chadenet 1997) et 11 à 21 individus (Busque 2006). Dans les aires de fréquentation intensive identifiées par Michaud (1993), la taille moyenne estimée des troupeaux varie entre 60 et 65 individus dans l'estuaire maritime et entre 9 et 25 individus dans l'estuaire moyen (*ibid.*).

Exceptionnellement, la taille moyenne des troupeaux que nous avons observés à l'embouchure du Saguenay a atteint 18,8 individus en septembre 2008, soit 39,3 individus si on applique le facteur de correction pour les individus submergés. Le plus gros troupeau observé était composé d'au moins 86 individus (en surface), soit possiblement 180 individus (avec correction), ce qui représenterait 16 % de la population totale du Saint-Laurent de 1 100 individus (Hammil *et al.* 2007) concentrée dans une aire de seulement 26 km². Laurin (1982) a reporté un maximum de 255 bélugas observés à l'embouchure du Saguenay au cours d'une journée et des nombres supérieurs à 100 à plusieurs reprises, mais il n'est pas clair si certains individus ont été comptés plus d'une fois.

Les groupes de bélugas composant les troupeaux sont le plus souvent formés de 1 à 3 individus (75 % des groupes), avec une moyenne de 2,6 individus. Puisque l'observateur pouvait généralement recompter les individus à quelques reprises au cours de leur séquence respiratoire, le dénombrement des individus formant un groupe ne nécessite pas une correction pour les individus en plongée. En effet, les animaux formant un groupe ont tendance à faire surface en même temps, alors qu'un troupeau peut être composé de plusieurs groupes ne faisant pas nécessairement surface en même temps. Encore une fois, ce résultat se rapproche des observations effectuées par Michaud (1993), qui avait observé des groupes composés en moyenne par 2 individus à l'embouchure du Saguenay.

En conclusion, l'embouchure du Saguenay est fréquentée quotidiennement pendant l'été, avec une présence moyenne de $51 \% \pm 14,9 \%$ (IC 95 %) du temps, par des troupes mixtes d'adultes, juvéniles et veaux, comptant $16,1 \pm 2,3$ individus, séparés en groupes de $2,6 \pm 0,04$ individus. Ces caractéristiques ne semblent pas avoir changé substantiellement depuis les études de Michaud (1993).

4.2.2 Densité de bélugas

En considérant que l'abondance moyenne de bélugas dans la série pluriannuelle est de $3,5$ individus $\pm 0,9$ (IC 95 %), la densité moyenne de bélugas à l'embouchure du Saguenay est donc de l'ordre $0,13$ bélugas/km² $\pm 0,03$ (abondance / aire de 26 km²). Selon les années, elle varie de $0,07$ ($\pm 0,01$) à $0,20$ ($\pm 0,02$) bélugas/km² (abondance moyenne annuelle variant de $2,0 \pm 0,3$ à $5,3 \pm 0,4$ individus). Ces estimés de densité incluent les observations avec absence de bélugas. En corrigeant pour les individus submergés, la densité moyenne d'animaux serait alors de l'ordre $0,28$ bélugas/km² ($\pm 0,07$) pour la série pluriannuelle et varierait de $0,15$ ($\pm 0,02$) à $0,42$ ($\pm 0,03$) bélugas/km² selon les années. Les plus grandes densités d'animaux ont été observées en septembre 2008, avec une moyenne de $0,72$ bélugas/km² ($\pm 0,07$), soit possiblement $1,51$ bélugas/km² ($\pm 0,15$) avec correction de 209 %. La fréquentation (présence de bélugas) a été alors de 77 % du temps.

Lors d'une série de relevés aériens photographiques et visuels effectués aux étés 2003 et 2005 sur une aire de 5 377 km², couvrant d'une rive à l'autre le tronçon de l'estuaire où se répartissent les bélugas l'été dans le Saint-Laurent, Gosselin et collaborateurs (2007) avaient mesuré des densités moyennes d'animaux en surface variant entre 0,10 et 0,17 individus/km² (moyennes annuelles et par type de relevé). La densité moyenne d'individus en surface que nous avons mesurée sur 7 ans ($0,13$ bélugas/km²) se situe au milieu de ces mesures et nos moyennes annuelles varient dans une gamme de densité un peu plus large (entre 0,07 et 0,26 bélugas/km²). Hammil et collaborateurs (2007) ont calculé un indice d'abondance corrigé pour la plongée de 1 100 bélugas (IC 95 % = 500 - 1 800 arrondi à la

centaine), à partir des données d'une série de relevés aériens couvrant systématiquement la même aire de 5 377 km² ou cette aire moins 1 mille nautique en amont et en aval (~150 km² de moins) (Gosselin *et al.* 2007). En divisant la taille de la population (1 100 individus) par l'aire échantillonnée (5 377 km²), la densité de bélugas estimée est de 0,20 individus/km². Cette valeur est inférieure à notre densité d'animaux corrigée pour les animaux en plongée (0,28 individus/km²). Cependant, l'aire couverte par les relevés aériens inclut des secteurs peu ou pas fréquentés par les bélugas (faibles bathymétries côtières), ce qui sous-estime la densité par rapport à un habitat ayant un potentiel de fréquentation à 100 %. En effet, Mosnier et collaborateurs (in prep., MPO, Institut Maurice-Lamontagne, Mont-Joli, Qc) indiquent que l'aire effectivement occupée par les bélugas lors des 36 relevés aériens effectués depuis 1988 varie entre 1 500 et 4 000 km², ce qui permet de calculer un écart de densités moyennes de bélugas variant entre 0,73 et 0,28 individus/km² sur la base d'une population de 1 100 individus. Afin de pouvoir correctement comparer nos densités de bélugas à l'embouchure du Saguenay avec la densité moyenne dans l'aire de répartition dans le Saint-Laurent, il faudrait une estimation non-biaisée de l'aire moyenne effectivement occupée lors des 36 survols aériens et rapporter à celle-ci l'estimation de la taille de la population. Sur la base de notre densité moyenne corrigée, une population de 1 100 individus occuperait 3 928 km² (IC 95 % = 3 143 - 5 238 km²).

Les travaux actuels visant à définir des habitats privilégiés des bélugas à partir des relevés aériens disponibles depuis 1988 (*ibid.*) ont identifié plus d'une trentaine d'aires de concentration (contenant 50 % de la population estimée), dont l'embouchure du Saguenay fait partie, bien distribuées dans l'aire de répartition, démontrant une utilisation moyenne relativement homogène de celle-ci. Ceci peut suggérer la présence d'une distribution spatiale aléatoire dans l'aire de répartition, stationnaire sur une longue période. De telles distributions sont propices à l'application de plans d'échantillonnage aléatoire pour l'estimation de quantités (Scherrer 2007). En assumant une telle distribution aléatoire des bélugas à l'intérieur de leur aire de répartition au cours d'une longue période d'observation, la densité moyenne de bélugas à l'intérieur d'une parcelle de cette aire, obtenue par la réalisation d'un plan d'échantillonnage non-biaisé avec observation répétée aléatoirement

ou systématiquement dans le temps, fournirait un estimé non-biaisé de la densité d'animaux dans l'aire totale. En considérant nos observations à l'embouchure du Saguenay comme une réalisation d'un tel plan d'échantillonnage, en admettant l'hypothèse d'une distribution aléatoire représentative et stationnaire sur notre période de 7 ans, on peut tenter un estimé de la taille de la population globale du Saint-Laurent à partir de nos $n = 12\,762$ observations systématiques estivales. En multipliant notre densité moyenne corrigée de $0,28$ bélugas/km² ($\pm 0,07$) par l'aire maximale occupée par les animaux lors des relevés ($4\,000$ km²) (Mosnier *et al.* in prep., MPO, Institut Maurice-Lamontagne, Mont-Joli, Qc), on obtient une population totale de $1\,120$ individus (IC 95 % = ± 280 , $n = 12\,762$). Cet estimé est très proche de celui obtenu par les relevés aériens de $1\,100$ individus (Hammil *et al.* 2007). Cette constatation indique que l'hypothèse d'un système conforme à une distribution aléatoire, stationnaire sur une longue période, mérite d'être vérifiée par une investigation approfondie. Elle ouvre la possibilité d'appliquer d'autres plans d'échantillonnage que ceux actuellement utilisés pour le monitoring de l'abondance de cette population classée en péril au Canada, dont le faible taux de répétition ne permet pas des estimations ayant un intervalle de confiance suffisamment étroit pour détecter rapidement une tendance faible (Scherrer 2007). De plus, l'hypothèse d'une distribution aléatoire et stationnaire à long-terme ne diminue pas l'importance des zones de concentration identifiées à l'intérieur de l'aire de répartition, pouvant chacune jouer un rôle important et potentiellement unique dans les fonctions vitales de la population.

4.3 VARIABILITE DANS LA FREQUENTATION ET L'OCCUPATION DE L'HABITAT

L'occurrence et l'abondance de bélugas dans l'embouchure du Saguenay varient significativement aux différentes échelles considérées (interannuelle, mensuelle, hebdomadaire, circadienne, tidale). À l'instar d'autres données sur des systèmes naturels, plus l'échelle temporelle considérée est fine, plus la variabilité est élevée. Cette relation de la variabilité en fonction de la taille de l'échelle temporelle a pu être établie (figure 23). Elle pourra servir à déterminer la variabilité attendue de divers plans d'échantillonnage en

fonction de l'échelle qu'ils couvrent ainsi qu'à évaluer quand deux estimés à deux échelles différentes peuvent être interprétés comme significativement différents et éviter des interprétations non justifiées.

La variabilité en fonction du cycle de marée est traitée dans la section 4.4 (*Fonction de l'habitat*).

4.3.1 Variations interannuelles

À l'échelle interannuelle, la fréquentation de l'embouchure du Saguenay par les bélugas (de juin à août) au cours des 7 années ne montre pas une tendance linéaire à la hausse ni à la baisse mais plutôt une faible fréquentation en 2003, une augmentation dans les années 2004 à 2006 puis une diminution dans les années 2007 à 2009. Elle est marquée par des fluctuations importantes en peu de temps, telles le passage de l'occurrence de bélugas d'un minimum de 15,4 % du temps en 2003 à un maximum de 77,4 % en 2005. De même, l'abondance moyenne passe d'un minimum de 2,0 individus/BOI en 2003 à un maximum de 5,3 l'année suivante.

La saison 2003 se démarque des autres saisons par la faible abondance et occurrence moyennes de bélugas. Cette variation est difficilement imputable à un biais de l'observateur, lié par exemple à une plus faible capacité de détection de bélugas de l'observateur de 2003 comparativement aux observateurs des années suivantes. En effet, l'observateur de 2003 a également récolté la plupart des données de l'été 2004 (voir section 2.1.2), où l'abondance de bélugas a été la plus élevée de la série pluriannuelle et l'occurrence parmi les plus élevées. Cette plus faible fréquentation de l'embouchure du Saguenay pourrait plutôt être liée à un moindre intérêt des animaux pour le secteur en 2003. Cependant, les troupeaux de bélugas qui ont fréquenté l'embouchure en 2003 sont parmi les plus gros (taille moyenne de 9,8 individus) observés annuellement (moyenne globale de 7,7 individus). Particulièrement, ils sont de taille similaire à ceux observés en 2004 (taille

moyenne de 9,7 individus), année de plus grande abondance, et ils sont 53 % plus gros que ceux observés en 2005 (taille moyenne de 6,4 individus), année de plus grande occurrence. Donc, la présence de bélugas à l'embouchure du Saguenay en 2003 a été plus courte mais plus intense que les autres années. Les faibles abondances et occurrences moyennes observées cette année pourraient alors être dues à un temps de résidence plus court dans la région, utilisée plutôt comme zone de transit entre l'estuaire et le fjord qu'une zone d'alimentation. Une étude similaire à la nôtre menée par Parcs Canada à la baie Sainte-Marguerite en 2003, 2004 et 2005 (Busque 2006) a en effet montré un taux de fréquentation de la baie plus élevé en 2003 (52,6 %) que les deux années suivantes (32,9 % et 44,9 %)¹⁰. La fréquentation relativement élevée de la baie Sainte-Marguerite en 2003 indiquerait que cette année-là les bélugas utilisaient de façon soutenue le Saguenay amont, devant donc nécessairement traverser son embouchure sans toutefois y séjourner longtemps. En 2004, l'occurrence de bélugas à l'embouchure a augmenté de plus de 250 %, alors qu'elle a diminué de 37 % à la baie Sainte-Marguerite. En 2005, elle a augmenté dans les deux secteurs d'environ 37 %. Il est difficile d'interpréter ces résultats sans tenir compte des abondances ; toutefois, celles-ci ne sont pas présentées dans l'étude de la baie Sainte-Marguerite. Cependant, le fait que les fluctuations des taux d'occurrence des deux secteurs aient évolué de façon opposée de 2003 à 2004 et similaire de 2004 à 2005 laisse croire qu'il n'y a pas de relation linéaire dans la fréquentation de ces deux aires.

L'occupation particulièrement intense de l'embouchure du Saguenay par les bélugas observée en 2005 correspond au pic d'occupation du Saguenay observé à travers les relevés aériens (Gosselin *et al.* 2007). En effet, le nombre moyen de bélugas dénombrés dans le fjord cette année était de 39, au moins 3 fois plus grand que le nombre moyen reporté pour les suivis effectués entre 1988 et 2003 (Gosselin *et al.* 2007).

¹⁰ Les données de cette étude ont été recueillies avec la même méthode que notre étude et un effort similaire. Les pourcentages d'occurrence sont calculés de la même façon.

Des variations interannuelles dans la fréquentation de l'embouchure du Saguenay par le béluga ont également été mises en évidence par la diminution du nombre de passages horaires de bélugas devant Pointe Noire entre 1982 et 1987 (Caron et Sergeant 1988). Cette tendance avait été décelée à travers des observations quotidiennes effectuées à partir de la rive entre juin et août à chaque été (sauf en 1985), en comptant le nombre d'individus se déplaçant vers l'amont ou vers l'aval de Pointe Noire. Le taux de passages horaires avait diminué de façon progressive et notable au cours de ces années (pente de régression = -0,25, $R^2 = 0,76$), alors que dans les années échantillonnées avant 1982 (i.e. 1975 et 1977) le taux de passage était similaire à 1982. Puisque l'achalandage maritime du secteur a augmenté progressivement entre 1980 et 1987 suite à l'établissement d'une marina à Tadoussac, on avait proposé l'hypothèse que la diminution du taux de passage des bélugas pouvait être reliée à l'augmentation de l'activité maritime, sans toutefois exclure d'autres facteurs susceptibles d'influencer les bélugas. Cette hypothèse n'a cependant jamais été validée par aucune étude. Par ailleurs, le présent travail illustre clairement la nécessité de considérer plusieurs sources de variabilité multifactorielles dans l'interprétation des changements de fréquentation d'un habitat dynamique comme l'embouchure du Saguenay. Il est également impossible de comparer nos données à celles de l'étude de Caron et Sergeant (1988) étant donné que le plan d'échantillonnage et les variables mesurées diffèrent.

Pour ce qui est des variations interannuelles observées dans la fréquentation du secteur par le béluga au cours des années 2003 à 2009, il semble peu probable que le trafic maritime à l'embouchure du Saguenay soit un facteur déterminant puisque son intensité et sa composition sont restés relativement stables d'une année à l'autre. La présence d'espèces compétitrices ne peut pas expliquer non plus ces variations étant donné la présence limitée de ces espèces et le manque de corrélation entre leur présence et celle de bélugas (voir la section 4.5 *Considérations sur les facteurs externes*).

L'embouchure du Saguenay peut connaître des fluctuations importantes de fréquentation entre les années. Les causes de ces sauts de fréquentation sont inconnues et

demeurent à investiguer. Elles indiquent cependant l'action d'un facteur de contrôle qui opère à l'échelle interannuelle, tels par exemple les changements dans l'attrait de cet habitat en fonction des fluctuations annuelles du recrutement des proies à cycle de vie court comme le capelan, ou l'attrait exercé par d'autres zones de l'habitat du béluga dans le Saint-Laurent. Plusieurs études ont effectivement montré que les variations dans la présence et l'abondance de différentes espèces de cétacés dans des secteurs précis étaient corrélées à l'abondance de leurs proies à ces endroits (Whitehead et Carscadden 1985; Payne *et al.* 1990; Burtenshaw *et al.* 2004). D'autres facteurs non liés à l'alimentation peuvent également expliquer l'attrait d'un habitat pour une espèce, particulièrement si celle-ci réside toute l'année dans le Saint-Laurent comme le béluga, devant subvenir à tous ses besoins vitaux à l'intérieur de cette aire (incluant la reproduction, le soin des jeunes et le repos).

4.3.2 Variations saisonnières

La fréquentation de l'embouchure du Saguenay par les bélugas présente des variations marquées dans l'abondance et l'occurrence d'animaux au cours de chaque été, autant à l'échelle mensuelle qu'à l'échelle hebdomadaire. Les oscillations mensuelles autour de la moyenne annuelle peuvent aller jusqu'à 108 % dans l'occurrence et 388 % dans l'abondance. Les écarts plus élevés ont été observés entre août et septembre 2008, où l'occurrence est passée de 42 % à 77 % et l'abondance de 3,0 à 12,2 individus. À l'échelle hebdomadaire ces écarts peuvent être encore plus marqués, comme en témoignent les valeurs maximales d'abondance de 23,7 bélugas et d'occurrence de 100 % atteintes à certaines semaines alors qu'à d'autres elles ont été nulles. Ces variations ne montrent pas un patron récurrent dans l'ensemble des saisons, indiquant l'absence d'un patron saisonnier uniforme dans l'utilisation de cet habitat entre juin et août. Ces résultats concordent avec les observations de Caron et Sergeant (1988), qui avaient également observé une variation significative des taux mensuels de passage des bélugas entre juin et août, sans toutefois

noter un patron général. Pour ce qui est de la fréquentation de l'embouchure en mai et septembre, nos données ont montré une présence de bélugas plus faible en mai et très forte en septembre lorsque les observations ont couvert la totalité de ces mois (en septembre 2008 et en mai 2009). Ces variations ne représentent pas nécessairement un patron récurrent étant donné qu'elles sont représentatives d'une seule année. Également, la variabilité élevée observée à l'échelle mensuelle démontre que l'information recueillie au cours d'un mois ne constitue pas une mesure suffisante pour évaluer l'état d'occupation d'un habitat dynamique.

Certaines années ont montré un certain degré de similarité dans le patron de variation hebdomadaire, notamment les paires d'années 2005-2007 et 2008-2009 dans l'occurrence de bélugas et 2004-2005 dans l'abondance. Nous ne disposons pas de l'information qui serait en mesure d'expliquer ces similarités isolées, ni les variations observées à l'échelle hebdomadaire et mensuelle. Le trafic maritime montre un patron mensuel relativement stable, avec plus d'achalandage en juillet et août à chaque année, et n'est pas statistiquement corrélé aux fluctuations mensuelles et hebdomadaires d'abondance de bélugas. La compétition avec d'autres espèces pour les ressources alimentaires est également un facteur improbable pour expliquer ces fluctuations (voir section 4.5).

L'abondance de proies dans certains secteurs peut varier selon des épisodes annuels, comme la récurrence de la fraye des poissons à des sites particuliers. L'utilisation intensive du secteur amont de l'Île-aux-Lièvres par le béluga a été documentée à la fin du mois de mai 1992, concordant avec la période de fraye du hareng (Lesage et Kingsley 1995; Munro *et al.* 1998). Ce site de fraye n'est toutefois pas utilisé à chaque printemps par le hareng, qui pourrait utiliser des sites de fraye alternatifs dans des régions voisines (Bédard *et al.* 1997; Munro *et al.* 1998). L'attrait saisonnier exceptionnel de certains sites peut générer des fluctuations dans l'utilisation du réseau d'habitats fréquentés par les bélugas. De même, l'irrégularité de l'intensité des événements de fraye et de leur localisation à des endroits précis pourrait influencer sur la variabilité de la fréquentation des habitats par les prédateurs comme le béluga. La répartition des proies dans l'aire de distribution estivale du béluga

dans le Saint-Laurent est dynamique et régie par un ensemble de facteurs biologiques (cycle vital, fraye, migration), environnementaux (nourriture, caractéristiques des masses d'eau, courants de marée et résiduels) et anthropiques (e.g. pêche), qui interagissent à divers niveaux et génèrent une variabilité dont il est difficile de cerner toutes les composantes, notamment dans cette région de l'estuaire du Saint-Laurent où des processus complexe prennent place (e.g. Saucier et Chassé 2000; Lavoie *et al.* 2000; Simard *et al.* 2002). Similairement, un prédateur tel que le béluga est régi par les mêmes règles et doit intégrer toutes ces influences biologiques et environnementales, en plus d'autres considérations anthropiques (e.g. dérangement, bruit) dans l'optimisation de sa croissance et sa survie. Il n'est donc pas étonnant que sa fréquentation saisonnière d'un habitat soit imprégnée de variations notables. De plus amples informations sur le processus de prédation in situ (e.g. Gautier 2012), les proies ciblées préférentiellement et leur dynamique spatio-temporelle (e.g. Simard *et al.* 2002, Turgeon 2012), devront être priorisées pour améliorer nos connaissances de l'utilisation par le béluga de son réseau d'habitats dans l'estuaire du Saint-Laurent et le fjord du Saguenay.

4.3.3 Variations circadiennes

Les abondances et occurrences de bélugas observées en moyenne au cours de la journée à l'embouchure du Saguenay indiquent que cet habitat est utilisé de façon régulière dans toutes les plages horaires de luminosité diurne échantillonnées, avec cependant une intensification en début d'après-midi, particulièrement vers 13-14h, et une diminution en fin de journée. Ce patron circadien est toutefois très variable d'une année à l'autre, bien qu'on observe une décroissance de la fréquentation en fin de journée dans la plupart des années. Il existe toutefois un certain degré de similarité dans les patrons de fréquentation circadiens observés entre les années comparées deux à deux, notamment dans l'abondance (6 paires) et dans l'occurrence (2 paires). Cette plus grande récurrence interannuelle dans la similarité des patrons de fréquentation circadiens par rapport aux patrons saisonniers

suggère une plus grande stabilité des patrons circadiens. Les paires d'années montrant une similarité dans les patrons de fréquentation saisonniers (2004-2005, 2005-2007 et 2008-2009) possèdent également des patrons de fréquentation circadiens similaires. Cette correspondance pourrait indiquer des conditions similaires dans les facteurs pouvant influencer la fréquentation de l'habitat, comme la disponibilité et la répartition des proies, lors de ces années.

L'heure du jour ne semble pas influencer de façon importante le type d'activité effectuée par les bélugas à l'embouchure du Saguenay. La seule variation prononcée est une augmentation des déplacements combinée à une diminution des comportements d'alimentation et de surplace vers 12h, dont les causes restent inconnues. Un lien avec le trafic maritime semble improbable puisque les pics d'achalandage sont généralement observés à 13h et à 15h. L'heure du jour a par contre une influence plus marquée sur la direction de nage des bélugas par rapport à l'axe longitudinal du Saguenay. On observe plus d'animaux orientés vers l'amont du fjord au cours de la matinée, surtout vers 8h, alors qu'en après-midi les animaux sont plus souvent orientés vers l'aval. Ces résultats sont en accord avec les observations de Laurin (1982), qui avait noté des déplacements plus fréquents vers l'amont du Saguenay au cours de la matinée et vers l'aval en fin de journée, et de Chadenet (1997), qui avait remarqué que les bélugas arrivaient plus fréquemment à la baie Sainte-Marguerite pendant la matinée et que leur abondance diminuait en fin d'après-midi. Ces observations suggèrent que les bélugas ont tendance à entrer dans le Saguenay pendant la matinée et à sortir en fin de journée. Par contre, Busque (2006) a noté des différences interannuelles dans l'occurrence de bélugas à la baie Sainte-Marguerite au cours de la journée, montrant une tendance à la baisse en 2003 et une tendance à la hausse en 2004 et 2005. Chadenet (1997) a également noté que les bélugas pouvaient séjourner dans la baie pendant plus de 13 h et qu'ils pouvaient parfois y être présents pendant la nuit. Il n'est donc pas clair si les bélugas ont tendance à utiliser le Saguenay suivant un rythme circadien, plus intensivement pendant le jour que pendant la nuit. D'autres types d'observations pouvant couvrir tout le cycle de 24 h, par exemple par l'écoute des vocalisations et signaux d'écholocation des bélugas (e.g. Simard *et al.* 2010, Roy *et al.*

2010) seront requis pour répondre à cette question, tant pour l'embouchure du Saguenay que pour les autres habitats régulièrement fréquentés.

Néanmoins, l'existence de patrons circadiens avait aussi été observée lors d'une étude sur l'utilisation du secteur en face de Gros-Cacouna, où l'occurrence de bélugas était plus grande tôt le matin et diminuait au cours de la journée (PESCA Environnement 2006). On peut donc soupçonner l'existence d'un réaménagement circadien de l'occupation du territoire, avec des échanges entre les différents secteurs du réseau d'habitats. Bien qu'on ne connaisse pas encore le degré de connectivité entre les différentes aires d'utilisation intensive (Mosnier *et al.* 2010), on sait que les bélugas du Saint-Laurent peuvent parcourir plusieurs dizaines de kilomètres par jour, comme le démontre l'observation d'un déplacement de 58 km parcouru par un groupe de 20-25 bélugas pendant plus de 15 heures de suivi (Laurin 1982). Plus récemment, Lemieux-Lefebvre et collègues (2012) ont démontré, par l'application d'émetteurs radio sur 44 animaux, que les bélugas du Saint-Laurent peuvent parcourir des distances non-linéaires moyennes de 23,4 km (variant de 5,3 à 60,7 km) dans des temps moyens de 4 h 27 min. (variant de 41 min. à 9 h 36 min.). Shaffer et collègues (1997) ont estimé que la vitesse de nage optimale (i.e. sans augmentation de la consommation d'oxygène) d'un béluga est de 2 m s^{-1} ($7,2 \text{ km h}^{-1}$). En assumant un déplacement constant et linéaire à une telle vitesse, sans tenir compte des courants de marée, et un maximum de 12 h de déplacement par jour vers un habitat, compte tenu d'un temps d'alimentation réaliste (Gautier 2012), les bélugas observés à l'embouchure du Saguenay pourraient connecter avec d'autres habitats situés dans un rayon maximal de 86 km dans une journée. Cependant, étant donné la tortuosité des déplacements observés par Lemieux-Lefebvre et collègue (2012) dans le Saint-Laurent, et compte tenu des autres activités vitales des bélugas (e.g. sommeil, élevage des jeunes) les distances parcourues dans le milieu naturel devraient être plus courtes. Des suivis de plus longue durée des déplacements des animaux ou des observations sur l'utilisation de plusieurs habitats simultanément ou séquentiellement pourront mieux répondre à cette problématique de la connectivité des habitats.

4.3.4 Variations dans la composition des troupeaux

On observe chez les bélugas qui fréquentent l'embouchure du Saguenay des variations interannuelles significatives dans les classes d'âge qui composent les troupeaux. Ces variations sont cependant de petite ampleur ($IC\ 95\ \% \leq 4,2\ \%$), ce qui indique une certaine stabilité dans les troupeaux qui fréquentent la région. Cette stabilité pourrait être reliée à la fidélité que les bélugas montrent généralement à leur habitat estival (Fraker *et al.* 1979; Finley *et al.* 1982; Rugh *et al.* 2000). Les variations interannuelles observées pourraient être en partie reliées au passage d'individus d'une classe d'âge à l'autre au cours des années, e.g. des cohortes de veaux qui deviennent juvéniles et des juvéniles qui deviennent adultes. En ce sens, les années 2005 et 2009 auraient été des mauvaises années de recrutement de veaux en raison de leur faible pourcentage et nombre (i.e. peu de naissances et/ou mortalité élevée chez les individus nés l'été précédent), alors que l'année 2004 aurait été une bonne année pour le recrutement de veaux (proportion et abondance de veaux plus grandes de la série pluriannuelle). Il n'est toutefois pas clair si les individus qui fréquentent l'embouchure du Saguenay appartiennent à une même fraction de la population revenant régulièrement dans la région ou s'ils font partie de différents groupes (Mosnier *et al.* 2010). Il est donc impossible d'évaluer dans quelle mesure les variations observées résultent du transfert d'individus entre les classes d'âge. Il se peut également que certains groupes d'adultes ou d'adultes accompagnés de jeunes fréquentent la région de façon irrégulière, ce qui viendrait modifier la composition moyenne des troupeaux observés.

Les variations saisonnières (i.e. mensuelles) significatives observées dans la composition des troupeaux fréquentant la région pourraient, quant à elles, être reliées à la période des naissances, qui s'étend de juin à août (Béland *et al.* 1990; Béland *et al.* 1992). Les nouvelles naissances devraient faire augmenter la proportion de veaux observés au cours de l'été dans le cas où les troupeaux fréquentant la région seraient toujours composés par les mêmes individus plus les nouveau-nés. Puisque la proportion de veaux observés n'augmente pas au cours de l'été, au contraire elle diminue à chaque année en juillet et demeure parfois basse en août, il est plus probable que les groupes comprenant des veaux

fréquentent plus d'autres secteurs pendant ces mois. Un de ces secteurs pourrait être la baie Sainte-Marguerite, dont les eaux plus chaudes et peu profondes représenteraient un habitat favorable pour les veaux (Mosnier *et al.* 2010 et références citées). La fréquentation de cette baie a en effet été associée à l'allaitement et à l'élevage des jeunes (Michaud 1992), en plus d'être associée à l'alimentation (Pippard et Malcolm 1978; Turgeon 2012) et à des comportements d'interaction sociale (Michaud 1992; Chadenet 1997). Il a également été proposé qu'en raison de son environnement calme et de son fond sableux et en pente, cette baie soit un milieu propice pour l'enseignement aux jeunes à chasser (Ménard *et al.* 2009; Turgeon 2012). La présence de groupes comprenant des nouveau-nés dans cette baie augmente en juin, juillet et août (Michaud 1992; Chadenet 1997). En particulier, une étude menée aux étés 2003, 2004 et 2005 à la baie Sainte-Marguerite a montré qu'en moyenne 38 % des troupeaux observés comprenait des veaux, alors que 86 % comprenait des juvéniles et/ou veaux, et que, pour les trois années, l'occurrence de bélugas était plus élevée en juillet (Busque 2006). Ces observations appuient l'hypothèse qu'une partie des groupes comprenant des veaux intensifient la fréquentation de la baie Sainte-Marguerite en juillet et août, fréquentant moins l'embouchure du Saguenay. D'autre part, en juillet et août l'achalandage maritime de l'embouchure s'intensifie et des corrélations négatives ont été trouvées entre la proportion de veaux observés et le nombre d'embarcations présentes dans le secteur (voir aussi la section 4.5.2). Il est donc possible que l'achalandage maritime à l'embouchure du Saguenay rende ce secteur moins propice à l'élevage des veaux comparativement à un secteur plus calme comme la baie Sainte-Marguerite. Une autre explication plausible est que les forts courants qui caractérisent l'embouchure du Saguenay soient moins favorables à un séjour prolongé dans le secteur par les groupes de bélugas avec nouveau-nés, dont les capacités natatoires sont limitées.

4.4 FONCTION DE L'HABITAT

4.4.1 Activités et comportements de surface des bélugas

En plus du rôle de couloir d'entrée et de sortie du fjord, certains auteurs ont attribué à l'embouchure du Saguenay la fonction d'aire présumée d'alimentation en y associant des comportements tels que des allées-retours dans un secteur restreint (Pippard et Malcolm 1978; Laurin 1982). La présence d'importantes agrégations de capelan, une des principales proies du béluga du Saint-Laurent (Vladikov 1946), à l'embouchure du Saguenay a par ailleurs été confirmée par plusieurs études (Laurin 1982; Marchand *et al* 1999; Simard *et al.* 2002), sans toutefois avoir établi un lien direct avec la présence et le comportement des bélugas, ce qui requerrait un effort spécifiquement dédié pour couvrir adéquatement les échelles spatio-temporelles de variabilité (Gauthier 2012), comme le démontrent des efforts non concluants sur des observations ponctuelles dans cette région (Turgeon 2012).

Dans tous les cas, ces comportements de surface associés à l'alimentation ou à la « résidence » prolongée dans un secteur de l'embouchure pour un certain temps (e.g. en faisant surface à plusieurs reprises au même endroit entre une plongée et l'autre) représentent dans notre étude près de la moitié des comportements notés (48 %), l'autre moitié (52 %) étant représentée par les comportements associés au déplacement. Bien que les proportions des deux types de comportement soient presque identiques, il faut noter qu'une partie des déplacements observés pouvaient être liés à des mouvements effectués au cours d'une période d'alimentation présumée ou de résidence, par exemple afin d'explorer ou exploiter différents secteurs de l'aire d'étude. Donc, une partie des déplacements observés peut être directement en lien avec les activités d'alimentation présumée ou de résidence. Seuls les déplacements effectués pour entrer ou sortir de l'aire d'étude ou encore transiter entre l'estuaire et le fjord, sans séjourner dans son embouchure, ne sont pas directement en lien avec des activités d'alimentation ou de séjour dans l'aire d'étude. La distinction entre les différents types de déplacement n'a pas été notée puisque cela aurait requis un suivi continu de chaque groupe de bélugas (afin de ne pas confondre différents

groupes se trouvant dans le même secteur), ce qui n'était pas possible avec la méthodologie utilisée. Il est donc difficile de déterminer la proportion des déplacements associables à une période d'alimentation ou d'utilisation de l'aire. Cependant, la proportion de comportements associés à l'alimentation ou à l'utilisation du secteur est vraisemblablement sous-estimée et la proportion des comportements associés au transit estuaire/fjord sans séjour dans l'embouchure surestimée. Dans tous les cas, nos résultats indiquent que l'embouchure du Saguenay est un secteur de résidence prolongée pour les bélugas et n'est pas uniquement un couloir de transit mais surtout (ou aussi) une aire d'alimentation présumée. Ces observations concordent avec la fonction attribuée à l'embouchure du Saguenay comme aire présumée d'alimentation (Pippard et Malcolm 1978; Laurin 1982) et comme une des aires de fréquentation et de résidence intensive (Michaud 1993; Lemieux-Lefebvre *et al.* 2012).

Un support additionnel à cette fonction d'alimentation est l'observation récente d'une plongée de chasse d'un béluga dans la région, explorant la masse d'eau avec son biosonar ultrasonique tout au long de la trajectoire tridimensionnelle de sa plongée, incluant des accélérations de cadences de clics associées à des événements d'approche de proies pélagiques (Roy *et al.* 2010). De plus, à l'instar des études précédentes, le comportement en surface des animaux supporte une activité d'alimentation, notamment le degré de cohésion et de dynamisme des groupes. En effet, lorsque les bélugas sont en déplacement, ils ont tendance à adopter des mouvements calmes et fluides (dynamisme « faible ») et à rester côte à côte (cohésion « forte »). Au contraire, lorsque les bélugas sont en alimentation, leur dynamisme tend à être plus prononcé, sans toutefois montrer de tendance pour un degré de cohésion en particulier. L'activité de surface est plus fortement associée au dynamisme nul, ce qui pourrait décrire un comportement de repos (billotage).

4.4.2 Influence du cycle de marée

Les résultats obtenus ont montré que l'abondance, la distribution spatiale et le comportement des bélugas à l'embouchure du Saguenay varient significativement en fonction du cycle de marée semi-diurne. En particulier, on distingue deux principaux patrons d'utilisation du secteur au cours du cycle de marée (divisé en 12 phases), l'un caractérisant la moitié du flot jusqu'au début du jusant (phases 3 à 7) et l'autre caractérisant le début du jusant jusqu'au début du flot (phases 8 à 12, 1 et 2).

Le facteur variant de façon plus marquée est l'abondance de bélugas, qui est nettement plus grande entre les phases 3 à 7 (mi-flot/début jusant) et diminue dans les phases 8 à 12, 1 et 2 (jusant/début flot) à chaque année. Les comportements associés à l'alimentation (incluant la nage en surface) ont été observés tout au long du cycle de marée, mais de façon significativement plus intense lors du flot et, particulièrement, lors la phase 3 (mi-flot). Ces résultats concordent avec les observations moins intensives effectuées dans les années 70, où les bélugas étaient observés en train de s'alimenter à l'embouchure du Saguenay en prévalence lors du flot, même si ce comportement était observé aussi au jusant (Pippard et Malcom 1978; Laurin 1982). En particulier, Pippard et Malcom (1978) ont observé qu'en moyenne l'alimentation débutait vers la moitié du flot et durait 1 heure et demi. Bédard et collègues (1997) avaient également noté une influence du cycle de marée semi-diurne sur l'abondance de bélugas à la passe de l'Île-aux-Lièvres, où les animaux étaient plus nombreux entre la mi-flot et le début du jusant, avec un maximum à la phase 4, et significativement moins nombreux à marée basse.

Lors du flot de marée, l'embouchure du Saguenay est le siège d'un intense hydrodynamisme tidal lié à la remontée des eaux denses et froides du chenal Laurentien par-dessus le seuil du fjord et à la subduction de ces eaux sous la couche d'eau superficielle du fjord dans son bassin d'entrée (Drainville 1968; Therriault et Lacroix 1975; Seibert *et al.* 1979; Saucier et Chassé 2000; Cloutier 2009). Ce phénomène de subduction porte à la formation d'un front de densité caractérisé par de brusques changements de température

(> 8°C) et de salinité (> 9 unités), d'une zone de clapot, d'un tourbillon, d'un entraînement de bulles d'air (jusqu'à > 60 m de profondeur) et de petits poissons ainsi que d'un mélange turbulent intense (Marchand *et al.* 1999; Cloutier 2009). Cette dynamique intense favorise la formation d'importantes agrégations de capelans (notamment juvéniles) dans la zone de front à l'embouchure du Saguenay (Laurin 1982; Marchand *et al.* 1999; Simard *et al.* 2008). Simard et collaborateurs (2008) ont étudié la dynamique des proies dans la zone de front de l'embouchure au cours de deux cycles de marée consécutifs (24h), constatant que les concentrations de capelan augmentaient de façon exponentielle vers la moitié du flot, pour diminuer ensuite jusqu'à la fin du flot et être dispersées vers l'estuaire au jusant. Cette dynamique a été observée sur les deux cycles de marée. Le pic tidal de densité de proies indiqué par ce modèle d'agrégation se vérifie donc dans la même période du cycle de marée où le nombre de bélugas en alimentation est maximal (présente étude, Pippard et Malcolm 1978, Laurin 1982). De plus, l'abondance de bélugas (présente étude) reste élevée jusqu'au moment d'évacuation de ces agrégations avec le panache du Saguenay au jusant, où le nombre de bélugas diminue significativement.

Même si l'abondance de capelan et celle de bélugas n'ont pas été relevées en même temps, il n'y a pas de raisons de croire que la dynamique frontale favorisant la formation des agrégations de proies dans la région de l'embouchure ait changé de façon significative au cours des années. Par contre, l'abondance de proies (comme le capelan) dans la région de l'embouchure et dans les secteurs voisins (e.g. tête du chenal Laurentien) pourrait varier d'une année à l'autre, mais cette variabilité expliquerait d'avantage les fluctuations interannuelles de l'abondance locale de bélugas, comme énoncé précédemment, alors que la fréquentation plus assidue de la région par le béluga pendant la période de flot persiste d'une année à l'autre. La persistance de ce patron tidal de fréquentation des bélugas pourrait donc être due à la présence régulière et prévisible de proies dans la région frontale, leur concentration et abondance étant régies par des processus agissant à une échelle plus large. Ceux-ci auraient des répercussions sur les abondances moyennes de bélugas observés, qui fréquenteraient plus assidument la région lorsqu'il y a abondance de proies et vice-versa.

La distribution spatiale et le comportement des bélugas dans la période de mi-flot/début jusant semblent également indiquer une relation avec les structures dynamiques associées au flot décrites par Cloutier (2009). En effet, une des deux zones de densité élevée de bélugas observée dans la période de flot se situe juste en amont du seuil, sur son talus (groupes 1A et 1B, figure 37). Cloutier (2009) a montré que la zone de subduction des eaux denses et froides estuariennes sous les eaux saumâtres du fjord se situe entre le talus et le seuil et qu'à cet endroit il y a la formation d'un premier front de densité. Dans la zone centrale du talus, où la profondeur est de 50 à 100 m (i.e. là où se trouve la première zone de densité élevée de bélugas), se produit un mélange turbulent intense entre les eaux du fjord et la masse d'eau intrusive estuarienne, formant une masse d'eau mélangée au-dessous des eaux de surface du fjord. Cette masse d'eau mélangée continue à progresser vers l'amont sous les eaux de surface du fjord et, vers la moitié du flot, remonte par ondulation vers la surface pour ensuite replonger en profondeur. Ainsi, un deuxième front de densité et une deuxième zone de subduction se créent en amont (~1,5 km) des premiers, approximativement dans la région où le deuxième noyau de densité de bélugas est observé (groupes 1B et 1C, figure 37). Une lentille d'eau saumâtre se trouve également isolée en surface (30 m de profondeur par 1,5 km de longueur) entre les deux fronts. Cependant, la localisation des fronts varie au cours du flot (notamment, le premier front se déplace progressivement vers l'amont) ainsi qu'avec le marnage des vives-eaux et mortes-eaux (Cloutier 2009). Il est donc difficile de positionner précisément les bélugas par rapport à ces structures sans des observations simultanées à haute résolution. Toutefois, les comportements d'alimentation observés sur le talus du seuil et la partie centrale/amont du bassin d'entrée suggèrent la présence de proies, possiblement agrégées dans les régions frontales, comme montré par Simard et collaborateurs (2008).

Les agrégations de proies pélagiques dans la zone frontale ne semblent pas être la seule source potentielle de nourriture dans la région pour le béluga. D'autres concentrations de proies peuvent se trouver ailleurs que dans les fronts (N. Ménard, Parcs Canada, comm. pers.; Turgeon 2012) et à d'autres phases de la marée. En effet, dans la période de jusant, l'abondance de bélugas est moins grande mais elle n'est pas nulle et des comportements

d'alimentation sont également observés à toutes les phases de marée. Certaines années on observe même une augmentation du nombre de bélugas en alimentation pendant les phases centrales du jusant. De plus, les petits rorquals semblent préférer le jusant pour s'alimenter à l'embouchure, ce qui suggère une présence non négligeable de proies. Selon le modèle de Simard et collaborateurs (2008), les agrégations de proies formées dans la zone de front sont dispersées et advectées vers l'estuaire au jusant avec le panache du Saguenay. Cependant, la masse d'eau intrusive provenant de l'estuaire maritime peut remonter le fjord jusqu'au-delà du deuxième seuil (20 km en amont de l'embouchure), poussée vers l'amont par le courant de mi-profondeur à près de 1 m s^{-1} et franchissant le second seuil vers la fin du flot (Siebert *et al.* 1979; Bélanger 2003; Cloutier 2009). De plus, en période de vive-eau, la couche mélangée peut rejoindre une seconde fois la surface (pendant la deuxième moitié du flot) formant un troisième front de densité en amont de l'embouchure. Cette dynamique pourrait favoriser la formation d'autres zones de concentration de proies en amont de l'embouchure au cours du flot, qui seraient successivement advectées vers l'embouchure au cours du jusant avec la masse d'eau mélangée et les structures frontales annexes. En effet, la vitesse du courant vers l'amont serait près de 1 m s^{-1} entre 0 m et 100 m de profondeur dans l'ensemble du bassin externe du fjord pendant ~5 heures durant le flot (Bélanger 2003), donc supérieure à la vitesse de nage soutenue du capelan. La vitesse de nage optimale (du point de vue énergétique et à 5°C) du capelan est $\leq 1,7$ longueurs de corps $\cdot \text{s}^{-1}$ (Behrens *et al.* 2006), et donc $\leq 0,35 \text{ m s}^{-1}$ pour des capelans adultes (longueur $\leq 21 \text{ cm}$, MPO 2011) et encore inférieure pour des juvéniles, comme ceux observés dans la région après la fraye (Ménard 1998; Simard *et al.* 2002). La vitesse de nage critique (i.e. maximale) a été estimée à 3 longueurs de corps $\cdot \text{s}^{-1}$ (Behrens *et al.* 2006), soit $\leq 0,63 \text{ m s}^{-1}$ (pour des adultes). Il est donc probable que le capelan puisse être poussé par les courants vers l'amont et l'aval du fjord dans le bassin externe, en plus de se concentrer dans les zones de front. Au jusant, le courant vers l'aval du fjord peut dépasser la vitesse de 1 m s^{-1} (Bélanger 2003), poussant donc les poissons en direction de l'embouchure, où le courant peut atteindre des valeurs $> 3 \text{ m s}^{-1}$ en période de vive-eau (Schafer *et al.* 1990).

Ainsi, l'embouchure du Saguenay serait une zone d'alimentation pour les bélugas aussi lors du jusant, mais d'une façon moins importante qu'au flot, possiblement en raison d'une plus faible abondance de proies ou d'une distribution plus dispersée de celles-ci pendant le jusant ou encore d'une capturabilité facilitée dans les zones frontales pendant le flot. La distribution spatiale et le comportement des bélugas au jusant indiquent une zone de plus haute densité d'animaux devant Pointe Noire et des zones d'alimentation dans la baie Sainte-Catherine, près de Pointe Noire et vers la baie de Tadoussac. Ces zones correspondent approximativement aux zones d'alimentation présumée qui étaient utilisées préférentiellement au jusant selon des observations subjectives de Laurin (1982).

L'orientation des bélugas par rapport à l'axe longitudinal du Saguenay, plus souvent empruntée (44 %) par rapport aux autres types d'orientation, indique un comportement de nage à contre-courant dominant dans toutes les phases de marée. En effet, l'orientation vers l'amont du fjord est plus souvent empruntée au jusant alors que l'orientation vers l'aval est plus souvent adoptée au flot. Ce comportement est cohérent avec l'intérêt des bélugas de séjourner dans le secteur, alors qu'il l'est moins avec l'intérêt de profiter des courants afin de se déplacer. Ce comportement pourrait représenter une stratégie permettant aux animaux de capturer plus efficacement des proies qui se déplacent avec le courant (Shane 1980). La nage en surplace à contre-courant a déjà été observée chez des bélugas dans la passe de l'Île-aux-Lièvres (Lesage et Kingsley 1995) et dans la rivière Nastapoka (Finley *et al.* 1982) ainsi que chez le marsouin commun (Pierpoint 2008) et chez le grand dauphin (Bailey et Thompson 2010) dans des sites d'alimentation. D'un autre côté, plusieurs auteurs ont noté une tendance à se déplacer avec les courants, autant chez les bélugas du Saint-Laurent (Pippard et Malcolm 1978; Laurin 1982; Michaud 1990) que chez les bélugas de l'Arctique (Kleinenberg *et al.* 1964; Finley 1982) et chez d'autres espèces d'odontocètes (McBride et Hebb 1948; McBride et Kritzler 1951; Schevill et Backus 1960; Gaskin *et al.* 1975; Würsig et Würsig 1979; Irvine *et al.* 1981; Read 1983). En particulier, Laurin (1982) et Pippard (1985a) ont rapporté que les déplacements vers l'amont du Saguenay semblaient se produire le plus souvent à marée basse ou lors du flot, alors que les mouvements vers l'aval semblaient plutôt s'amorcer pendant le jusant, bien que des mouvements à l'intérieur

du fjord fussent observés à toutes les phases de la marée. Chadenet (1997) n'avait pas noté de lien entre l'abondance de bélugas à la baie Sainte-Marguerite et la phase de marée, mais elle avait toutefois noté que les troupeaux arrivaient plus souvent entre la fin du flot et le début du jusant et qu'ils partaient plus souvent au jusant. Étant donné que la vitesse de nage optimale (sans augmentation de la consommation d'oxygène) d'un béluga est estimée autour de 2 m s^{-1} (Shaffer *et al.* 1997) et que la vitesse des courants dans le fjord sont généralement de l'ordre de 1 à 2 m s^{-1} , pouvant dépasser 3 m s^{-1} dans la région de l'embouchure (Schafer *et al.* 1990, Bélanger 2003), l'économie d'énergie que les bélugas auraient en nageant dans le même sens du courant lors des déplacements serait notable. Il est donc plausible que les bélugas nagent dans le sens du courant lorsqu'ils effectuent des déplacements, alors qu'ils s'orienteraient face au courant lorsqu'ils veulent séjourner dans des secteurs précis (i.e. sans se faire expulser par le courant), notamment pour s'alimenter. Ces observations renforcent encore l'hypothèse que l'embouchure du Saguenay représente une aire d'alimentation importante pour les bélugas et qu'elle n'est que partiellement utilisée comme zone de transit.

Les résultats sur les analyses en fonction du cycle semi-mensuel de marée n'ont pas été présentés étant donné leur variabilité et l'absence d'une tendance nette. L'épisode anecdotique d'abondance extraordinaire de bélugas en période de vive-eau, observé en septembre 2008, montre toutefois que le marnage pourrait avoir un effet sur la concentration de proies à l'embouchure. En effet, même si les structures associées à la dynamique frontale et de subduction se manifestent peu importe le marnage, l'intensité des phénomènes (notamment la vitesse des courants) est accrue en période de vive-eau (Cloutier 2009). D'autre part, cet épisode d'abondance extraordinaire pourrait dépendre d'autres facteurs, comme l'abondance et la distribution des proies dans la région de la tête du chenal Laurentien, qui est une inconnue dans notre étude. En effet, lors de cet épisode, l'abondance de bélugas avait déjà dépassé le niveau moyen de la période peu après les mortes-eaux, suggérant que les faibles marnages ne sont pas un facteur limitant pour la concentration de proies à l'embouchure. D'un autre côté, l'abondance de bélugas a atteint des valeurs très élevées aux vives-eaux et a diminué par la suite, laissant donc ouverte

l'hypothèse que les grands marnages favorisent les processus d'agrégation de proies dans la région frontale. La présence d'espèces peu fréquentes dans l'embouchure du Saguenay comme le rorqual commun, espèce s'alimentant également sur le capelan (Mitchell 1975), lors de cet épisode suggère également la présence de grandes concentrations de proies (comme le capelan) dans la région et pourrait également signifier l'absence ou la rareté provisoires de celle-ci dans les sites d'alimentation habituels dans l'estuaire. Des connaissances sur l'abondance et la distribution des proies sont donc requises afin de mieux comprendre cette problématique d'usage intensif exceptionnel des habitats.

4.5 CONSIDERATIONS SUR LES FACTEURS EXTERNES

4.5.1 Autres espèces de cétacé

L'embouchure du Saguenay est une région fréquentée principalement par le béluga et le petit rorqual, les autres espèces de cétacé n'y étant présentes qu'occasionnellement. Le petit rorqual est régulièrement observé dans le Saguenay jusqu'à quelques km en amont de son embouchure, occasionnellement jusqu'à la baie Sainte-Marguerite (25 km en amont) et exceptionnellement jusqu'à une centaine de km en amont de l'embouchure (Michaud 1992). L'abondance du petit rorqual à l'embouchure du fjord est cependant nettement inférieure à celle du béluga, qui représente 93,7 % des cétacés que nous avons observés, alors que le petit rorqual n'en représente que 6,0 %. Les petits rorquals observés étaient pour la plupart solitaires, 76 % des observations indiquant la présence d'un seul individu dans toute l'aire d'étude. Parfois, plus d'un individu étaient présents simultanément, mais rarement plus que 3 (1,3 % des observations). Les comportements observés étaient le plus souvent associés à l'alimentation (59 %). Cette espèce s'alimente entre autres de capelan (Sergeant 1963; Haug *et al.* 1995), proie pélagique dominante à l'embouchure du Saguenay (Simard *et al.* 2002). Dans le Saint-Laurent, le petit rorqual semble préférer les eaux côtières peu profondes, où il chasse des petits poissons (Naud *et al.* 2003; Doniol-Valcroze

2008). Les observations de petit rorqual que nous avons faites sont plus fréquentes près des deux rives de l'embouchure, se concentrant principalement devant la Pointe Noire et la Pointe de l'Islet et le plus souvent dans les zones peu profondes (< 50 m). La plus grande abondance des petits rorquals au jusant et leur préférence pour les eaux près des pointes pourraient indiquer une technique de chasse exploitant les parois rocheuses et/ou la turbulence générée par les courants autour des pointes comme des barrières les aidant à capturer les proies (Hastie *et al.* 2004; Johnston *et al.* 2005). Dans tous les cas, nos observations suggèrent que l'embouchure du Saguenay est un site d'alimentation régulier pour le petit rorqual.

Les observations des autres espèces de cétacés (rorqual commun, rorqual à bosse et marsouin commun) ont été plutôt sporadiques (0,3 %) et ne se produisaient pas à chaque été. Ces espèces s'observent plus régulièrement dans l'estuaire maritime, où se trouvent des sites d'alimentation mieux connus comme celui à la tête du chenal Laurentien (Simard 2009) qui se situe à peu de kilomètres en aval de l'embouchure du Saguenay et où se produisent régulièrement des grandes concentrations de zooplancton et de poissons fourragers (Simard et Lavoie 1999; Lavoie *et al.* 2000; Simard *et al.* 2002). L'entrée de ces espèces de cétacé moins communes dans l'embouchure du Saguenay pourrait correspondre à une entrée particulièrement massive de leurs proies dans le bassin, poussées par des forts courants de marée, par exemple lors d'une période de vives-eaux, ou après un événement atmosphérique particulier (comme une tempête), et à la rétention de ces proies dans le bassin de l'embouchure pour une période limitée, jusqu'à l'expulsion vers l'estuaire par le jusant. Les simulations numériques à haute résolution de ce système de transport des proies réalisées par Saucier, Sourisseau et Simard (Simard Y., ISMER-UQAR, communication personnelle) supportent cette hypothèse. L'embouchure du Saguenay deviendrait alors un site d'alimentation temporairement plus avantageux pour ces espèces, qui suivraient la distribution des concentrations de leurs proies. En effet, la distribution des cétacés a souvent été directement associée aux patrons de distribution des proies lorsque ces données étaient simultanément disponibles (Whitehead et Carscadden 1985; Woodley et Gaskin 1996; Jaquet et Gendron 2002; Baumgartner *et al.* 2003; Macleod *et al.* 2004).

Bien que le petit rorqual soit une espèce compétitrice du béluga pour une partie de son régime alimentaire, le capelan étant l'une de leurs principales proies, sa présence à l'embouchure du Saguenay ne semble pas interférer avec celle des bélugas (corrélations nulles ou très faibles). Le patron d'utilisation de l'habitat diffère entre les deux espèces, le petit rorqual ayant une préférence pour s'alimenter de la mi-jusant au début du flot près des rives (particulièrement les pointes), alors que le béluga semble préférer la période de mi-flot/début jusant et la partie plus profonde de l'embouchure. Le partage de l'habitat dans l'espace et dans le temps au moyen d'une sélection à petite échelle des variables dynamiques peut en effet être une stratégie pour alléger la compétition interspécifique. Ceci a déjà été postulé pour l'estuaire du Saint-Laurent chez des espèces de rorquals, ceux-ci montrant des schémas de distribution spatiale différents selon l'espèce, reflétant probablement des différences de stratégie alimentaire (Doniol-Valcroze 2008).

4.5.2 Trafic maritime

L'embouchure du Saguenay est l'un des secteurs du PMSSL où l'achalandage maritime est le plus intense (Chion *et al.* 2009). Au cours de notre période d'observation, le trafic maritime motorisé comptait au moins une embarcation motorisée autre que traversier pendant 72 % du temps en moyenne. Cet achalandage maritime augmente à 84 % entre 9h et 17h et se densifie en juillet et août, où en moyenne 4 embarcations motorisées sont présentes simultanément dans l'embouchure, en plus des traversiers, aux heures de pointe (9-10h, 13-14h, 15-17h). Au total, jusqu'à 23 embarcations motorisées ont été observées simultanément dans l'aire d'étude.

Selon Chion et collaborateurs (2009), l'embouchure du Saguenay supportait, de mai à octobre 2007, 13 % du temps total de navigation dans le PMSSL pour une superficie représentant seulement 1 % du parc. Selon leur étude, 51 % du temps de navigation dans l'embouchure est attribuable aux bateaux d'excursion, alors que les traversiers (inclus dans l'embouchure dans leur étude) comptent pour 29 %. Dans notre étude, qui exclut les

traversiers, le temps de navigation attribuable aux excursions est donc de l'ordre de 72 % ($51/(100 - 29)*100=71,8$ %). Ces bateaux d'excursion sont responsables de 77 % des transits de bateaux à l'intérieur de notre aire d'étude ($21\ 348/(48\ 902-21\ 246)$ transits $*100=77,2$ %) (Chion *et al.* 2009). Les bateaux d'excursion représentent 66 % des bateaux motorisés, dont 39 % sont des embarcations du type pneumatique à coque rigide. Ce trafic élevé de bateaux d'excursion à l'embouchure du Saguenay s'explique en grande partie par la présence de plusieurs compagnies d'excursion rattachées au port de Tadoussac et offrant des départs de Tadoussac et de Baie-Sainte-Catherine, faisant la navette entre les deux quais, doublant ainsi le nombre de transits dans l'aire d'étude pour une même excursion. De plus, la plupart de ces bateaux offre la visite du fjord et de l'estuaire au cours d'une même excursion, augmentant encore le nombre de passages dans l'embouchure (Chion *et al.* 2009).

Qu'elles soient motorisées ou pas, les embarcations sont presque toujours en transit, n'effectuant que rarement l'observation de mammifères marins à l'intérieur de l'aire d'étude (5 % des observations). En effet, seulement 5 % des observations effectuées par les bateaux d'excursion dans la région du parc marin entre la mi-juin et septembre visent les bélugas (Michaud *et al.* 2003). Cette petite proportion d'activité d'observation de mammifères marins dans l'embouchure du Saguenay s'explique par le fait que l'espèce la plus présente dans le secteur est le béluga et que cette espèce est protégée par un règlement interdisant à toute embarcation d'approcher une espèce à statut précaire (comme le béluga) à moins de 400 m, ce qui en limite l'observation.

Parmi les embarcations non motorisées, les kayaks sont le type le plus souvent observé, représentant 28 % des embarcations de tout genre confondu, en même proportion que les bateaux de type pneumatique. Cependant, la durée de présence d'embarcations non motorisées est beaucoup moins importante que celle des embarcations motorisées, n'étant présentes que 30 % du temps. Cela s'explique en considérant que les excursions en kayak (type principal d'embarcation non motorisée observée) sont souvent effectuées en groupe de plusieurs embarcations, ce qui concentre leur abondance dans des périodes plus

restreintes comparativement aux embarcations de type pneumatique, qui sont autant abondantes mais dont la présence est plus étalée dans le temps.

Même si les effets du trafic maritime sur la population de bélugas du Saint-Laurent sont peu connus, les activités d'observations en mer et la circulation maritime ont été identifiées parmi les sources potentielles de dérangement et les menaces potentielles pour le rétablissement du béluga du Saint-Laurent (Lesage et Kingsley 1995; MPO et WWF 1995; MPO 2012).

La collision avec des bateaux a plusieurs fois été mise en évidence sur des carcasses de bélugas dans le Saint-Laurent, mais il n'a pas été établi que la collision ait été la cause principale de mortalité (Lair 2007; MPO 2012). Plusieurs individus portent également des blessures et des cicatrices attribuables vraisemblablement à une collision avec un navire (R. Michaud, GREMM, données non publiées; cité par MPO 2012). Même si des collisions n'ont jamais été reportées pendant nos observations, la cooccurrence de bélugas et de bateaux à une distance rapprochée est un événement plutôt fréquent à l'embouchure du Saguenay pendant le jour (en moyenne ~8 cooccurrences à moins de 600 m par heure en 2005) (Turgeon *et al.* 2008).

Le trafic maritime représente également une source de bruit significative contribuant à la dégradation acoustique de l'habitat du béluga du Saint-Laurent (Lesage *et al.* 1999; Scheifele *et al.* 2005; McQuinn *et al.* 2011; Gervaise *et al.* 2012). Un récent bilan du bruit de navigation dans la région d'étude (Gervaise *et al.* 2012) fait état du niveau élevé du bruit associé au trafic à l'embouchure, couvrant une large bande de fréquence, dont la contribution principale provient des traversiers. Aux heures de pointe associées aux départs et arrivées des excursions, les niveaux atteignent des valeurs maximales. L'exposition des cétacés au bruit de la navigation peut amener à des réactions de différents degrés, allant d'une modification subtile des comportements de plongée à l'interruption des activités normales (repos, alimentation, interaction sociale, soin aux jeunes, etc.) et même au délaissement à court ou à long-terme des zones perturbées (Richardson *et al.* 1995; Bejder *et al.* 2006; Weilgart 2007).

Nos données n'ont pas pu mettre en évidence une relation simple et claire entre la présence des embarcations et la présence ou le comportement des bélugas, la variabilité multifactorielle à diverses échelles invalidant les comparaisons linéaires de paires simples ou celles basées sur de courtes durées. En effet, il n'y a pas d'évitement du secteur ou une diminution évidente dans la fréquentation de l'embouchure par les bélugas lors des périodes de plus grand achalandage maritime. Au contraire, les périodes de plus grande abondance de bélugas correspondent parfois aux périodes où le trafic maritime est le plus intense, autant à l'échelle circadienne (e.g. en début d'après-midi) que saisonnière (e.g. en juillet et août). De plus, les fluctuations interannuelles observées dans l'abondance de bélugas ne sont pas reliées à des fluctuations du trafic maritime puisque ce dernier demeure relativement stable d'une année à l'autre. Cependant, on observe en moyenne des densités significativement plus faibles d'animaux lorsque le nombre d'embarcations motorisées présentes dans l'aire est supérieur à 4 (ou supérieur à 6 pour les embarcations de tous genres). L'interprétation de ce résultat n'est toutefois pas immédiate puisque les densités de bélugas sont aussi significativement plus faibles en absence d'embarcations. Par contre, ce dernier résultat peut s'expliquer par la dépendance des deux variables (nombre de bateaux et nombre de bélugas) à l'heure du jour puisqu'autant les bélugas que les bateaux sont en moyenne plus abondants dans le milieu de la journée et plus faibles en début et fin de journée. Par ailleurs, le plus faible nombre de bélugas en présence d'un nombre élevé d'embarcations ne peut s'expliquer par ce patron circadien. Ce résultat pourrait alors s'expliquer par une réaction des animaux à l'augmentation du trafic maritime affectant les observations, via un prolongement de l'intervalle de temps entre les respirations en surface (comportement d'ailleurs plus prononcé dans le Saguenay et son embouchure) (Blane et Jaakson 1994). Une telle réaction se traduirait par une détection moins fréquente des bélugas au cours des BOI, le temps de plongée pouvant être plus long que l'intervalle entre un BOI et l'autre (généralement 5 minutes), et donc dans une baisse des abondances mesurées. Cette hypothèse n'est toutefois pas supportée par le test de corrélation simple effectué entre les nombres d'embarcations et de bélugas à chaque BOI, ne montrant pas de corrélation significative entre les deux variables. D'autres tests prenant en compte des

facteurs confondants comme l'heure du jour ou des classes d'abondance de bateaux seraient à explorer. L'explication alternative toutefois est que la diminution d'abondance pourrait résulter d'un délaissement temporaire du secteur lorsque le nombre d'embarcations dépasse un certain seuil. Cette réaction serait alors plus facilement détectable à des échelles temporelles plus larges que celle du BOI. En effet, quelques corrélations négatives significatives entre le nombre de bélugas et le nombre de bateaux ont été trouvées à l'échelle horaire, mais celles-ci sont plutôt faibles et ne concernent que les veaux ou le total de bélugas avec un pas de retard d'une heure.

Les faibles corrélations significatives entre le nombre d'embarcations et les caractéristiques des groupes de bélugas suggèrent l'existence d'un effet de la navigation sur le comportement des bélugas, qu'il faudrait par contre valider par une étude spécifique et approfondie. En présence d'un plus grand nombre d'embarcations on observe de plus faibles proportions de veaux, d'individus en alimentation présumée et d'individus dispersés (avec cohésion nulle). La diminution de la proportion de veaux pourrait dériver de la prolongation de l'intervalle respiratoire des mères accompagnées de leurs veaux. La diminution de la proportion d'adultes pourrait ne pas avoir été détectée puisque les mères ne représentent qu'une portion des adultes. Nowacek et collaborateurs (2001) ont observé une augmentation plus marquée des intervalles respiratoires chez les femelles de grands dauphins (*Tursiops truncatus*) multipares et ont émis l'hypothèse que la diminution du temps passé en surface en présence de bateaux soit un comportement appris par les mères afin de diminuer les risques de collisions, qui seraient accrus par la perte d'agilité occasionnée par la présence du veau, nageur moins habile. La faible corrélation négative des moyennes horaires de veaux et d'embarcations pourrait aussi être imputable au délaissement de l'aire par les mères accompagnées de leurs veaux en période de fort achalandage.

La diminution de la proportion d'individus en alimentation est cohérente avec les observations de Blane et Jaakson (1994), indiquant que lorsque les bélugas étaient perturbés par le passage d'un bateau à proximité pendant le comportement d'alimentation,

ils interrompaient généralement leur activité. Ces auteurs ont également montré qu'une des réactions des bélugas à l'approche d'une embarcation est de se rassembler en groupe plus serrés, ce qui est en accord avec la diminution de la proportion d'individus dispersés (avec cohésion nulle). Cette réaction a également été observée chez d'autres espèces de cétacé (Nowacek *et al.* 2001; Jelinski *et al.* 2002).

Bien que nos observations descriptives n'aient pas été conçues pour étudier les effets du trafic maritime sur les bélugas, les résultats suggèrent l'existence de quelques effets du trafic maritime sur le comportement et la présence des bélugas à l'embouchure du Saguenay. Pour tester cette hypothèse, des études dédiées visant à éclaircir cette problématique de façon plus spécifique seront nécessaires. Elles devront toutefois être conçues en tenant compte de la variabilité multifactorielle des observations à plusieurs échelles ainsi que des possibilités d'habituation du béluga, de la fidélité à leurs habitats essentiels et de la rareté de sites alternatifs (Lesage 1993; Brodie 1989).

CHAPITRE 5

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail a contribué à recueillir de l'information sur l'utilisation de l'habitat par le béluga du Saint-Laurent et sur la fonction d'une des aires les plus fréquentées par cette espèce menacée. Il a également permis d'établir la relation de la variabilité en fonction de la taille de l'échelle temporelle des mesures, qui pourra servir pour des futures études, notamment pour déterminer la variabilité attendue de divers plans d'échantillonnage en fonction de l'échelle qu'ils couvrent. Cette information sera également utile pour déterminer le nombre d'échantillons nécessaires pour estimer la signification de différences d'abondance entre des estimés effectués à différentes échelles.

Nos résultats appuient l'hypothèse que l'embouchure du Saguenay soit une aire d'alimentation importante pour le béluga et que l'abondance et la distribution des bélugas soient influencées par le cycle de marée semi-diurne, vraisemblablement en réponse aux mouvements de leurs proies, sans toutefois pouvoir valider cette hypothèse par des observations simultanées sur les proies. Des études couplant les observations sur les proies et les bélugas, contrôlant pour la variabilité à plusieurs échelles, et suivant le comportement de prédation sous l'eau, devraient être priorisées afin d'améliorer nos connaissances sur la fonction biologique des habitats du béluga. On reconnaît toutefois que ces études sont difficilement réalisables sur le terrain, vu la complexité des processus dynamiques et les moyens requis pour les mettre en œuvre.

La méthode utilisée dans ce travail est relativement simple et peu coûteuse. Elle pourrait être améliorée par la mise en place de mesures appropriées pour corriger la fraction submergée d'individus, afin de pouvoir effectuer une estimation plus précise du nombre d'individus présents dans la région. Cette méthode pourrait également être répliquée à

d'autres sites fréquentés par le béluga, en simultanée ou séquentiellement, de façon à étudier la connectivité du réseau des habitats essentiels. Ces informations, couplées à des suivis continus d'animaux et aux données des relevés aériens, pourraient aider à comprendre l'utilisation de l'habitat à plus grande échelle dans le Saint-Laurent et dans le Saguenay.

Nos résultats ouvrent la possibilité d'appliquer d'autres plans d'échantillonnage que ceux actuellement utilisés pour le monitoring de l'abondance du béluga du Saint-Laurent, pour lequel il est actuellement difficile de déceler une tendance dans la taille de la population. Le faible taux de répétition des relevés aériens, la grande taille du territoire à couvrir et la grande variabilité dans la fréquentation des habitats à plus fine échelle rendent la détection d'une tendance significative dans la taille de la population un défi statistique pour une population ayant un faible taux de croissance. La combinaison de plusieurs plans d'échantillonnage paraît une avenue à explorer, notamment en exploitant les caractéristiques statistiques à différentes échelles présentées dans ce travail.

Les connaissances sur les effets que le trafic maritime pourrait avoir sur le béluga, particulièrement dans une aire d'alimentation fréquentée par des juvéniles et des veaux et située au carrefour de son aire de répartition, devraient être approfondies par des études spécifiquement dédiées, qui tiendront compte de la variabilité multifactorielle de l'habitat. Ces connaissances contribueraient à évaluer si les bélugas arrivent à subvenir efficacement à leurs besoins alimentaires et aux soins des jeunes dans les secteurs de navigation intense, dans un contexte où des sites alimentaires alternatifs d'une qualité similaire à l'embouchure du Saguenay pourraient être rares ou ne pas exister et où la connectivité entre les habitats exige le passage à travers ces aires achalandées.

Finalement, l'ensemble de ces connaissances sont nécessaires dans le contexte actuel, qui vise à améliorer la protection de cette population en péril et à favoriser son rétablissement.

ANNEXES

ANNEXE I

Occurrence et abondance moyenne de bélugas par semaine d'échantillonnage

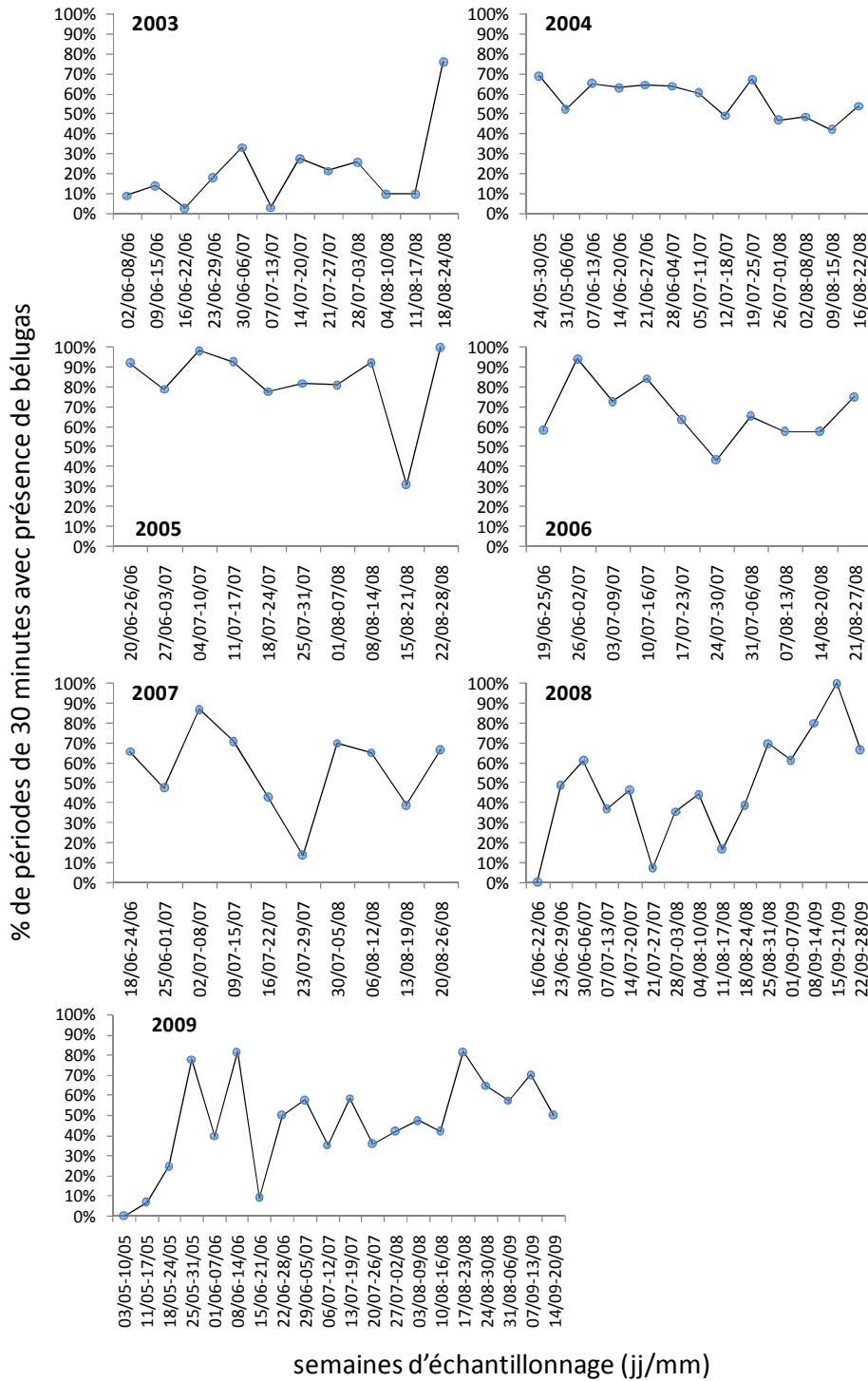


Figure A1.1 : Occurrence de bélugas (% de périodes de 30 minutes avec présence de bélugas) de 2003 à 2009, par tranches hebdomadaires.

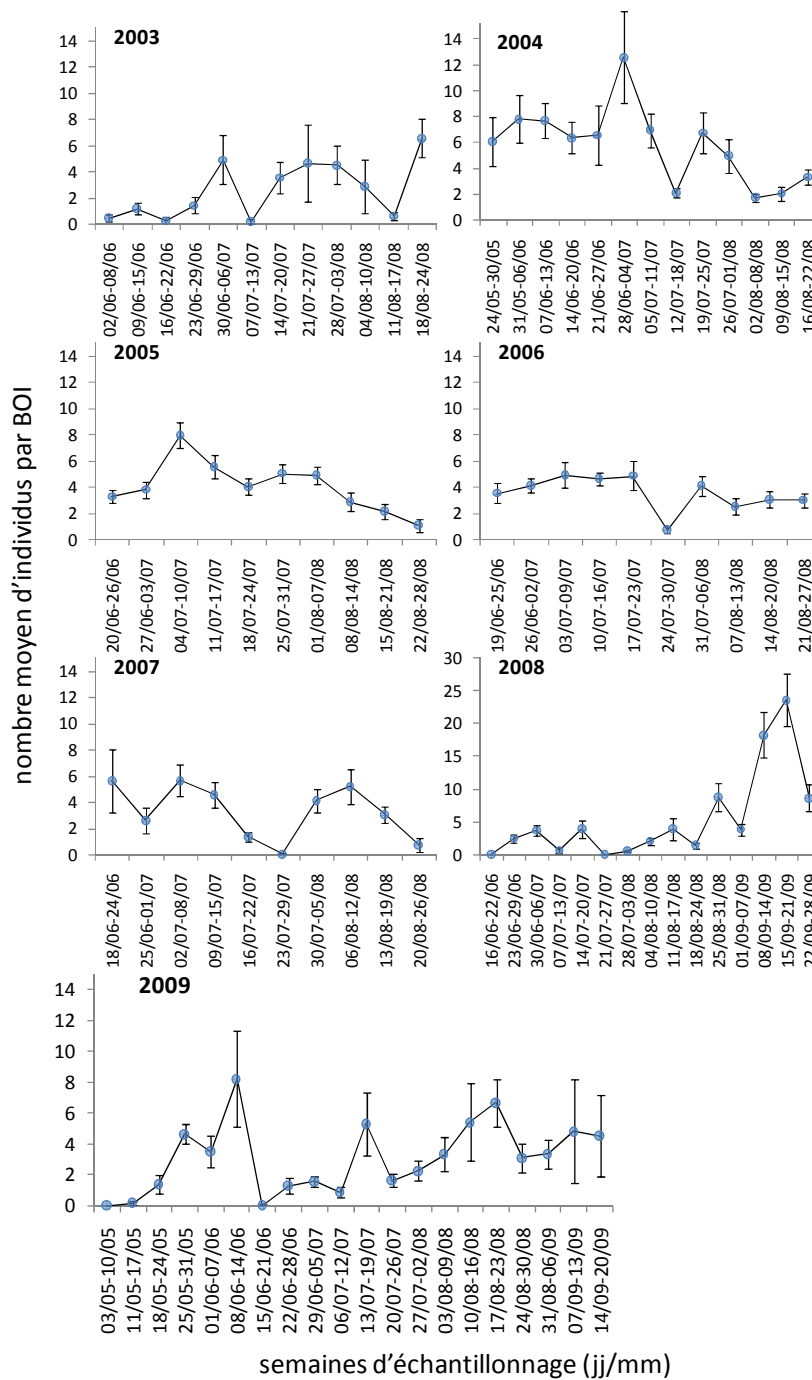


Figure A1.2 : Abondance moyenne de bélugas par BOI de 2003 à 2009, par tranches hebdomadaires, avec IC 95 % (noter qu'en 2008 l'échelle est différente).

ANNEXE II

**Variation mensuelle des proportions des classes d'âge et des types d'activité observés
chez les troupes de bélugas à chaque année**

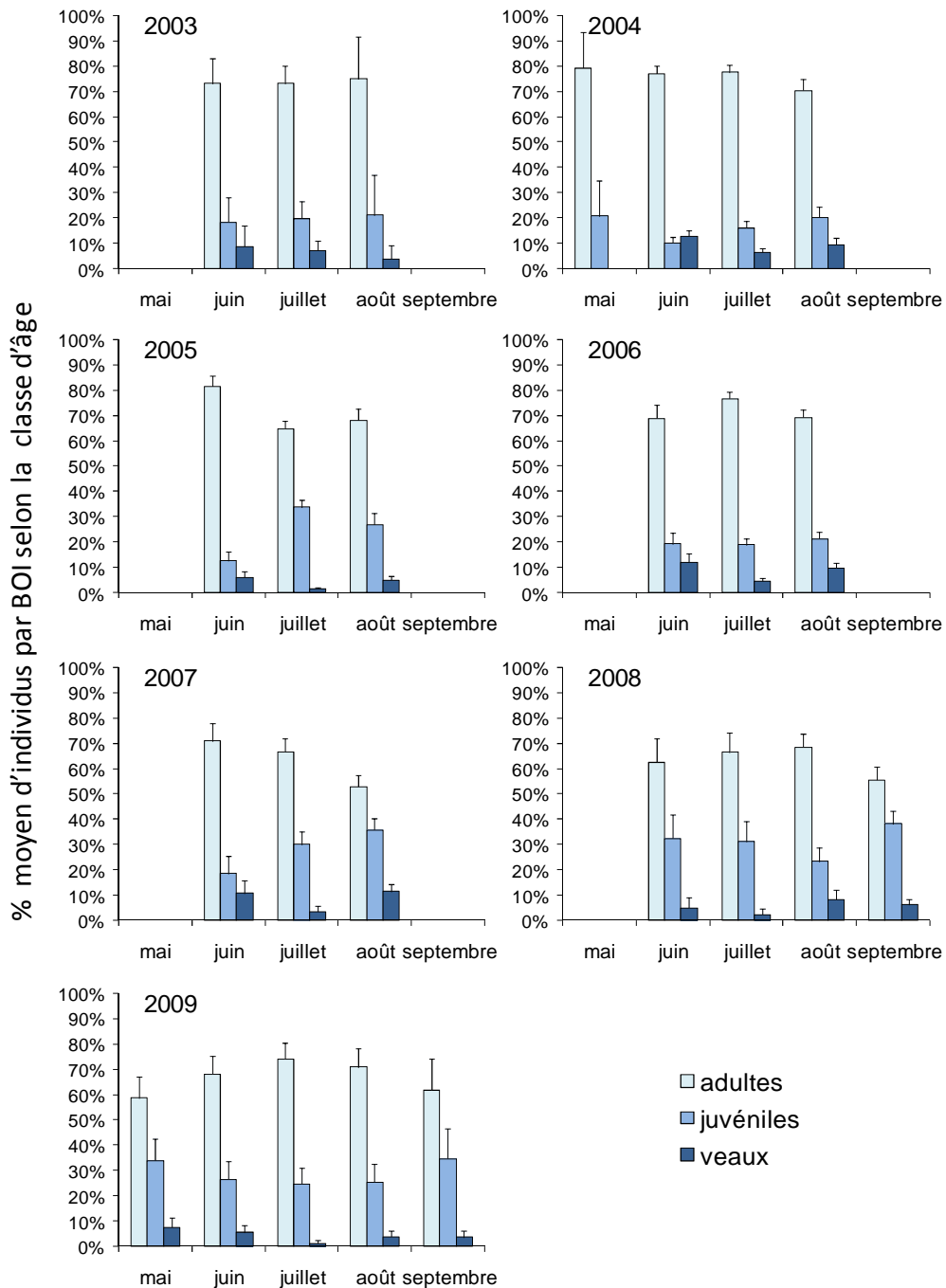


Figure A2.1 : Proportions moyennes des classes d'âge observées dans les troupeaux de bélugas à chaque BOI pour chaque mois des années 2003 à 2009, avec borne supérieure de l'IC 95 %.

Tableau A2.1 : Nombre moyen d'individus par classe d'âge observés à chaque BOI pour chaque mois des années 2003 à 2009 et moyenne pluriannuelle.

	adultes					juvéniles					veaux				
	mai	juin	juillet	août	septembre	mai	juin	juillet	août	septembre	mai	juin	juillet	août	septembre
2003	n.d.	0,61	2,27	1,62	n.d.	n.d.	0,15	0,61	0,46	n.d.	n.d.	0,07	0,22	0,08	n.d.
2004	3,88	6,20	3,92	1,79	n.d.	1,01	0,82	0,81	0,52	n.d.	0,00	1,02	0,32	0,24	n.d.
2005	n.d.	2,85	3,72	2,26	n.d.	n.d.	0,44	1,93	0,89	n.d.	n.d.	0,21	0,08	0,16	n.d.
2006	n.d.	2,83	3,37	2,09	n.d.	n.d.	0,79	0,83	0,64	n.d.	n.d.	0,49	0,20	0,29	n.d.
2007	n.d.	2,66	1,89	2,04	n.d.	n.d.	0,69	0,85	1,38	n.d.	n.d.	0,40	0,10	0,44	n.d.
2008	n.d.	0,96	1,48	2,07	6,78	n.d.	0,50	0,69	0,70	4,66	n.d.	0,08	0,05	0,25	0,76
2009	1,13	2,28	1,68	3,09	2,44	0,65	0,89	0,56	1,11	1,37	0,14	0,18	0,03	0,16	0,14
moyenne (± IC 95%)	2,50 (± 2,69)	2,63 (± 1,35)	2,62 (± 0,76)	2,14 (± 0,35)	4,61 (± 4,26)	0,83 (± 0,35)	0,61 (± 0,19)	0,90 (± 0,35)	0,81 (± 0,25)	3,02 (± 3,22)	0,07 (± 0,14)	0,35 (± 0,25)	0,14 (± 0,08)	0,23 (± 0,08)	0,45 (± 0,61)

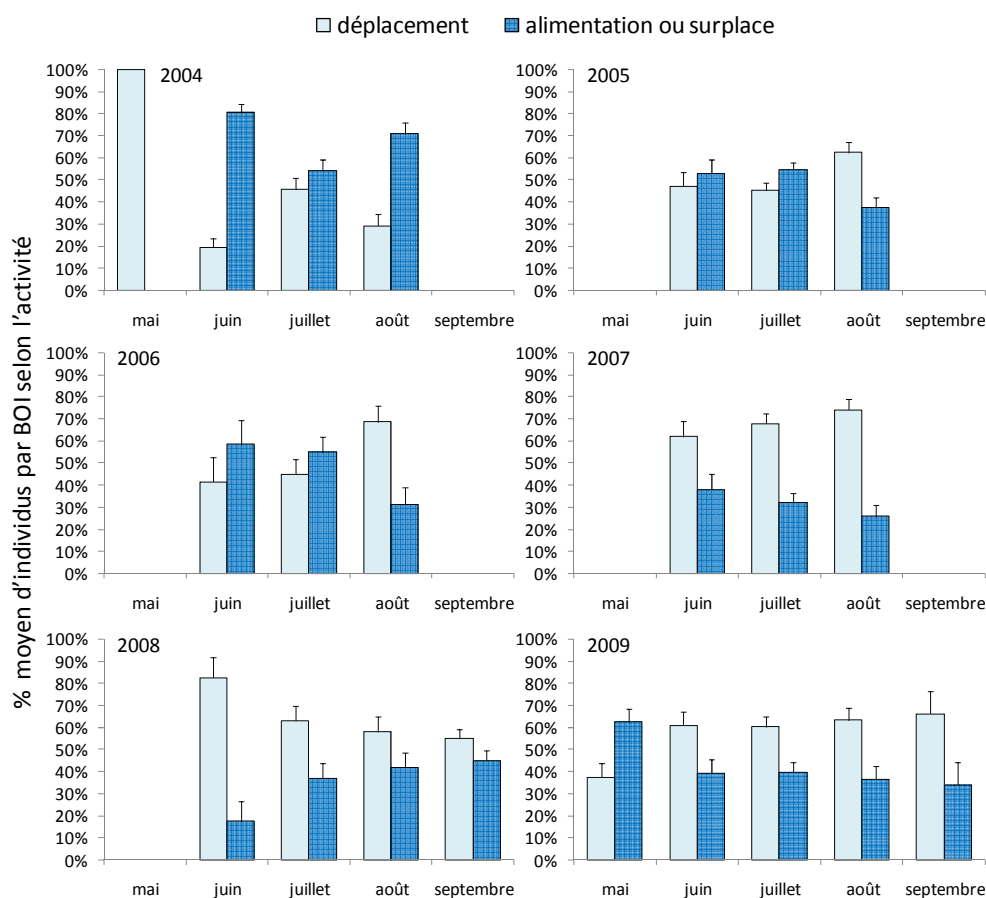


Figure A2.2 : Proportions moyennes des types d'activité observés chez les troupeaux de bélugas à chaque BOI pour chaque mois des années 2004 à 2009, avec borne supérieure de l'IC 95 %.

ANNEXE III

Variation de la distribution spatiale des densités de bélugas au cours du cycle de marée semi-diurne à chaque année de 2003 à 2009 et pour l'ensemble

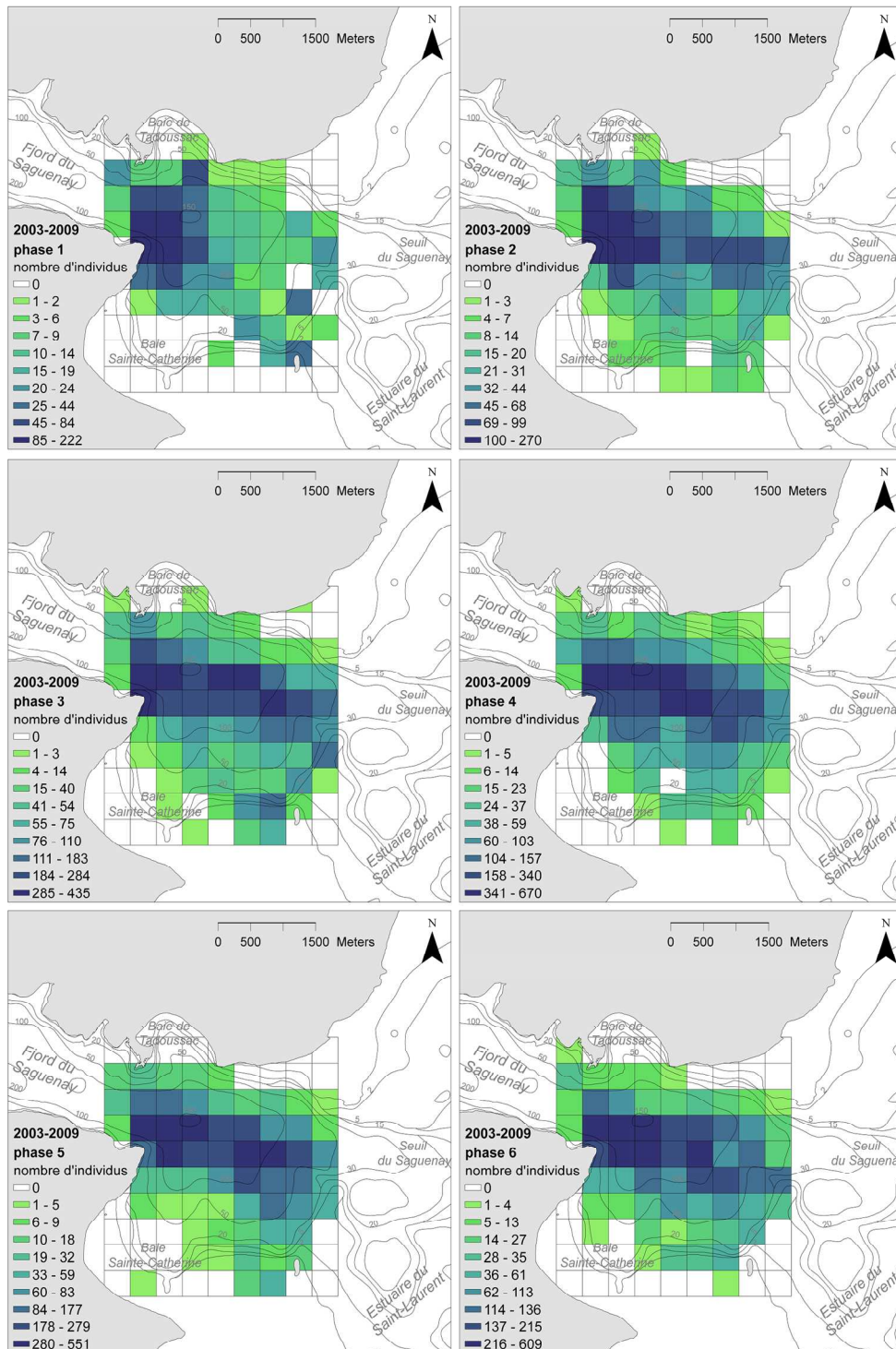


Figure A3.1 : Variation de la distribution spatiale des densités de bélugas (classées par déciles) à chaque phase de marée pour l'ensemble des données et pour chaque année de 2003 à 2009. Noter que l'échelle varie à chaque phase.

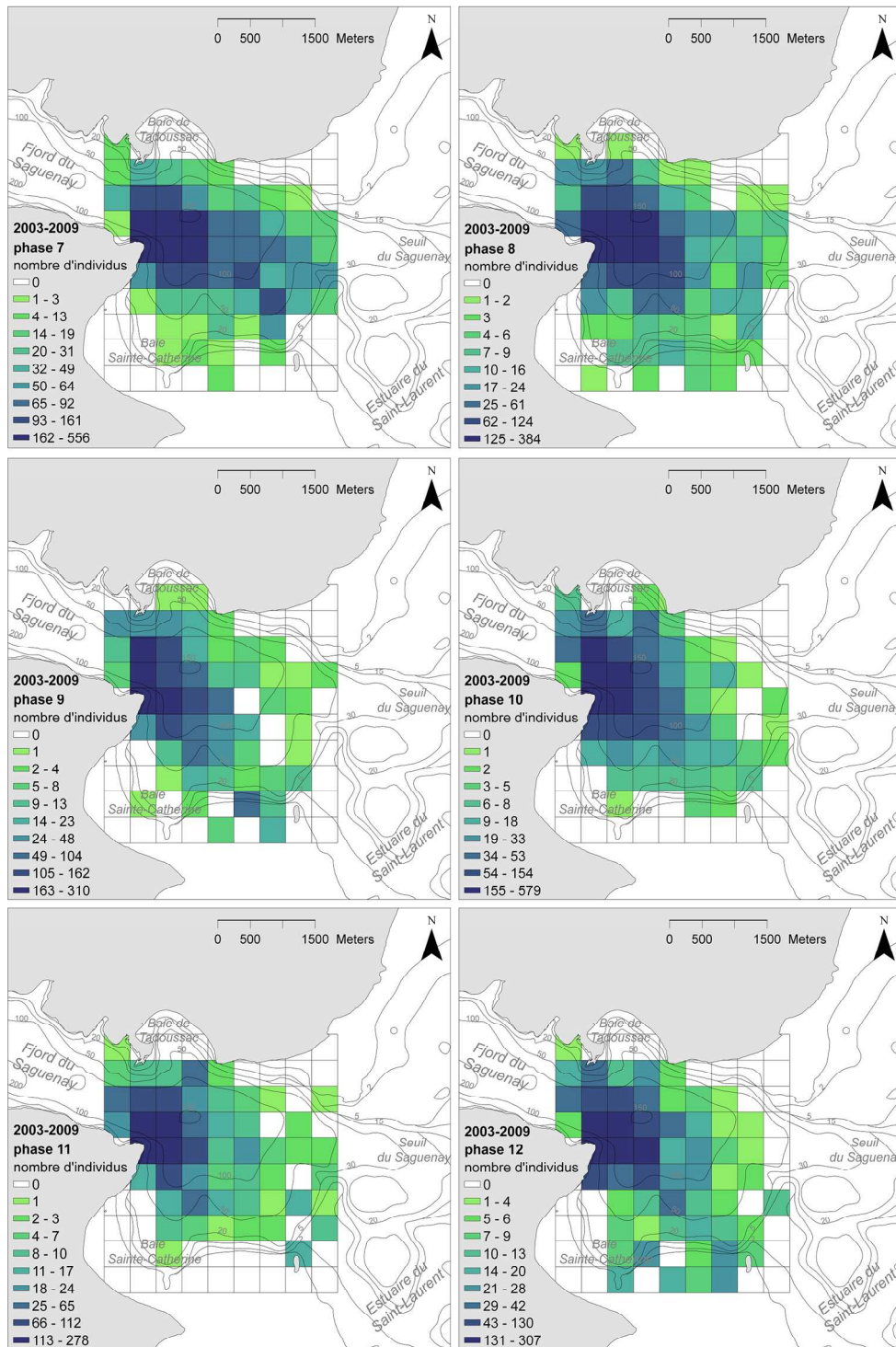


Figure A3.1 (suite) : Variation de la distribution spatiale des densités de bélugas (classées par déciles) à chaque phase de marée pour l'ensemble des données et pour chaque année de 2003 à 2009. Noter que l'échelle varie à chaque phase.

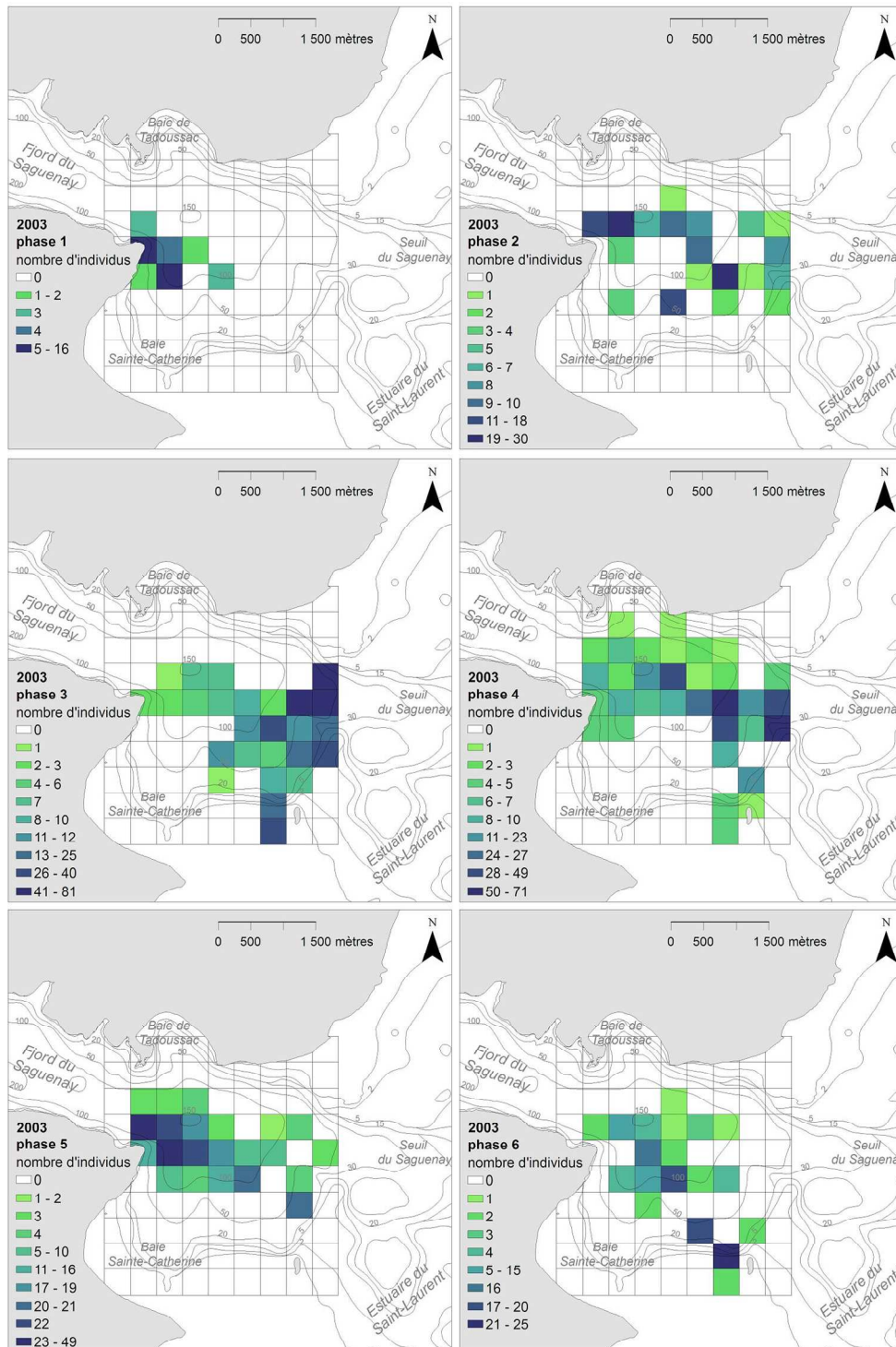


Figure A3.1 (suite) : Variation de la distribution spatiale des densités de bélugas (classées par déciles) à chaque phase de marée pour l'ensemble des données et pour chaque année de 2003 à 2009. Noter que l'échelle varie à chaque phase.

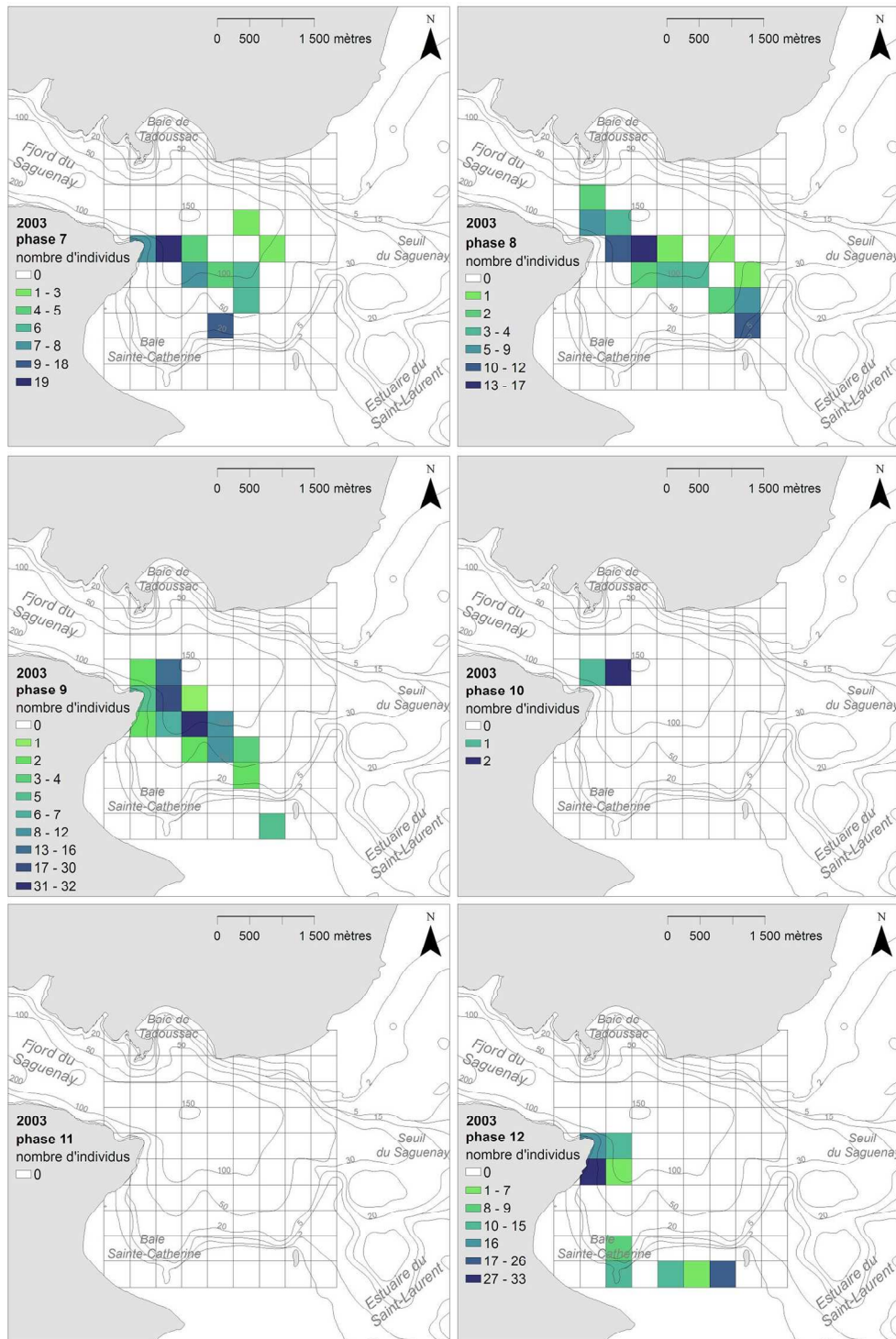


Figure A3.1 (suite) : Variation de la distribution spatiale des densités de bélugas (classées par déciles) à chaque phase de marée pour l'ensemble des données et pour chaque année de 2003 à 2009. Noter que l'échelle varie à chaque phase.

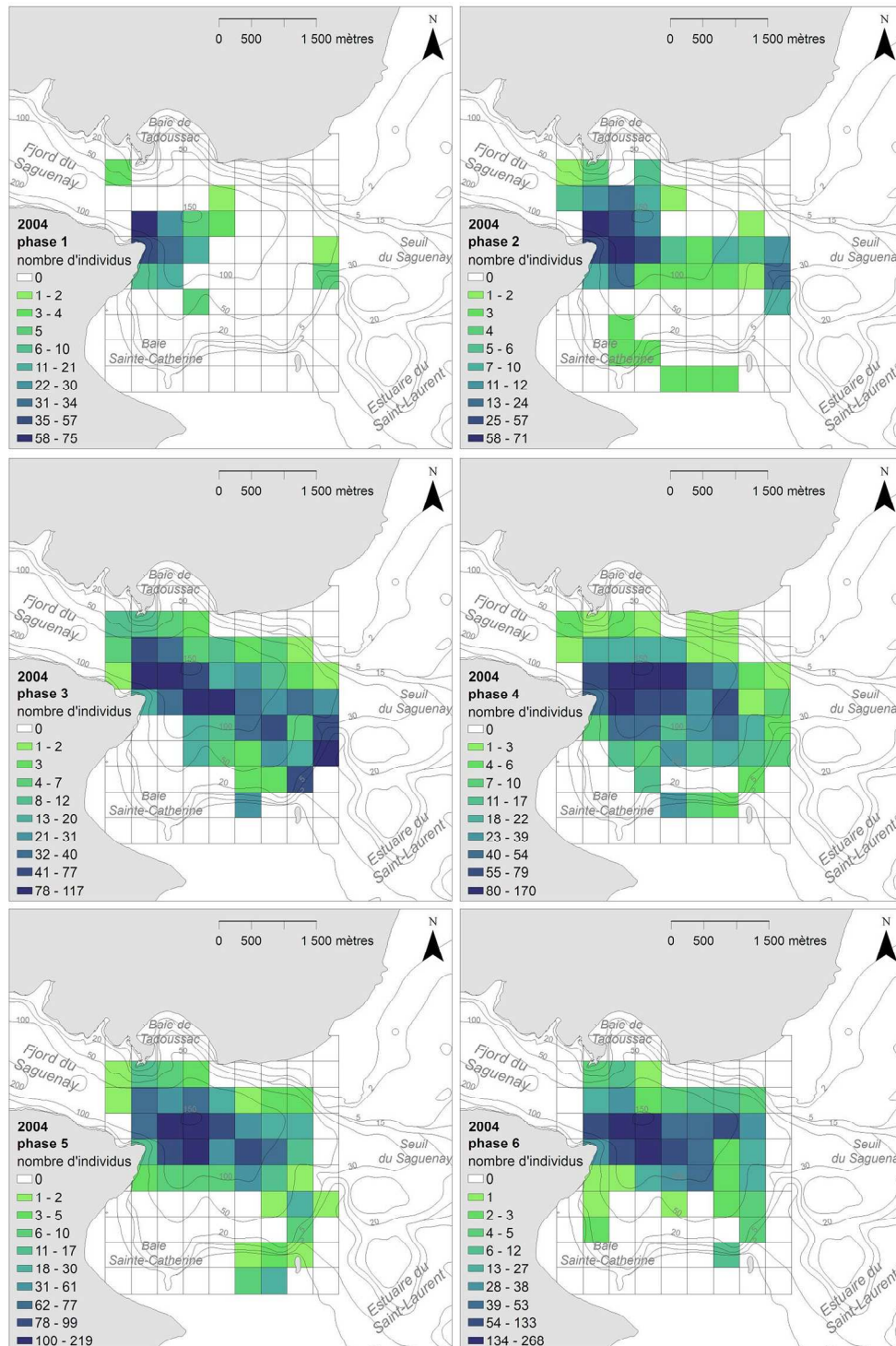


Figure A3.1 (suite) : Variation de la distribution spatiale des densités de bélugas (classées par déciles) à chaque phase de marée pour l'ensemble des données et pour chaque année de 2003 à 2009. Noter que l'échelle varie à chaque phase.

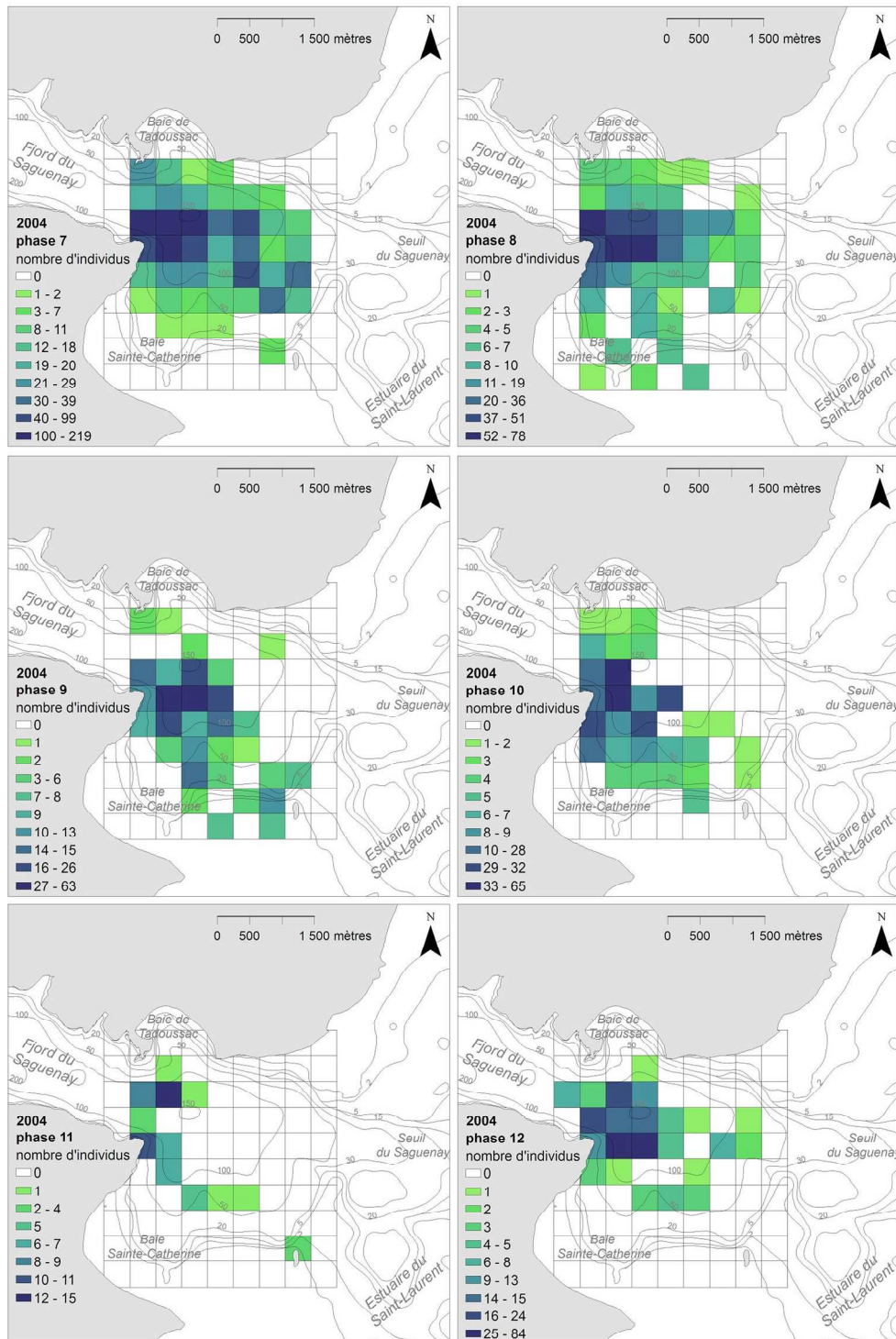


Figure A3.1 (suite) : Variation de la distribution spatiale des densités de bélugas (classées par déciles) à chaque phase de marée pour l'ensemble des données et pour chaque année de 2003 à 2009. Noter que l'échelle varie à chaque phase.

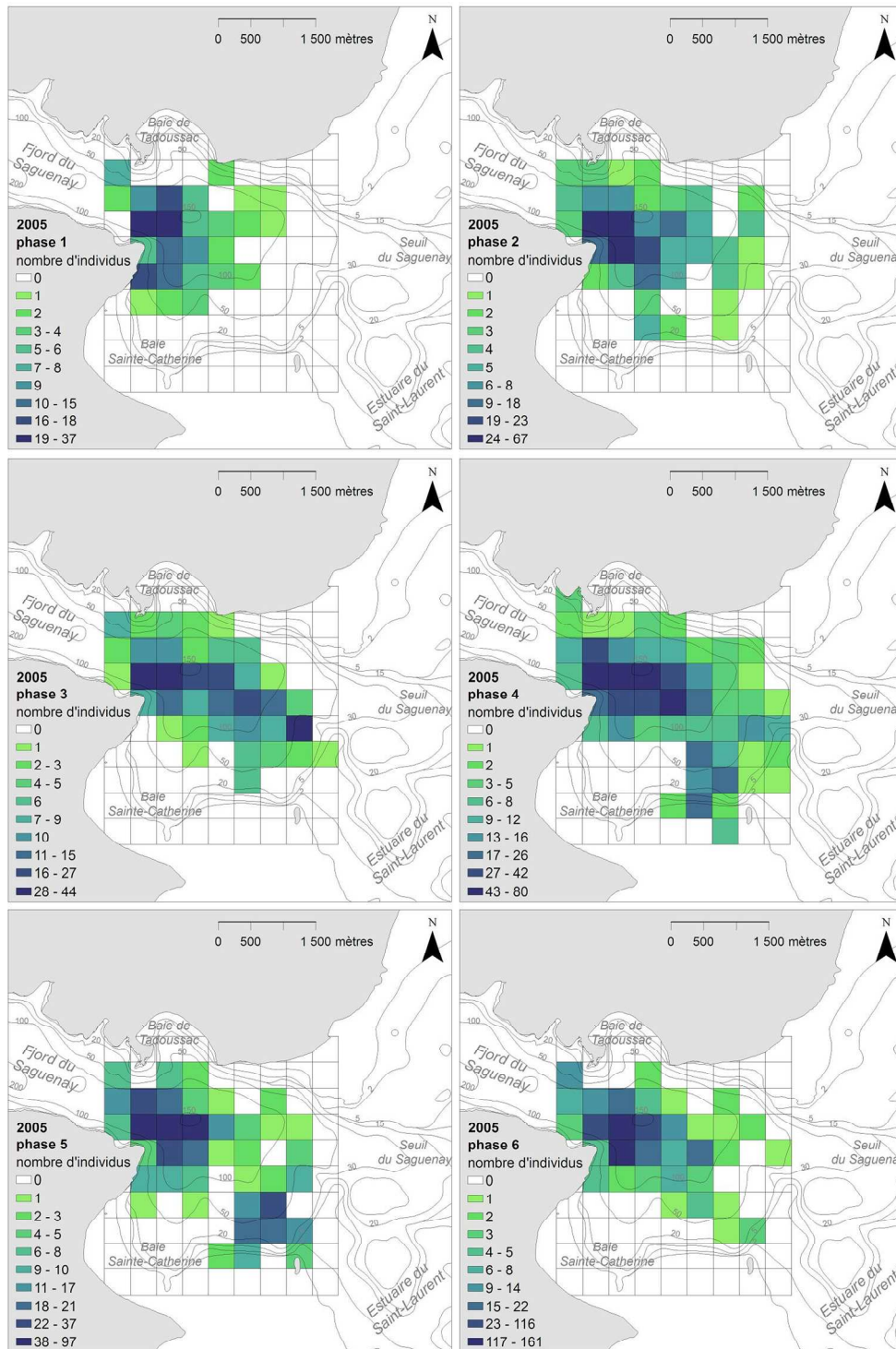


Figure A3.1 (suite) : Variation de la distribution spatiale des densités de bélugas (classées par déciles) à chaque phase de marée pour l'ensemble des données et pour chaque année de 2003 à 2009. Noter que l'échelle varie à chaque phase.

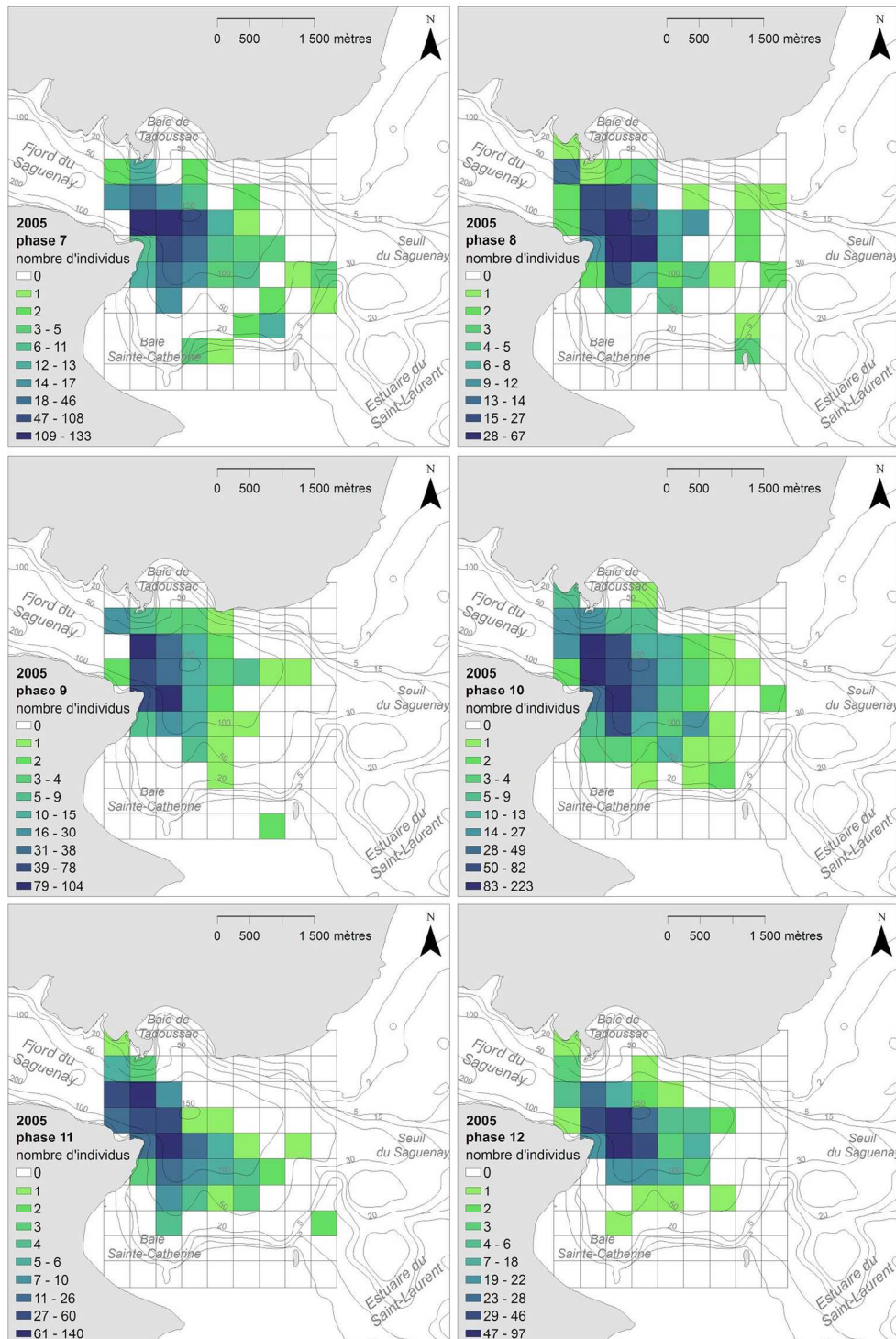


Figure A3.1 (suite) : Variation de la distribution spatiale des densités de bélugas (classées par déciles) à chaque phase de marée pour l'ensemble des données et pour chaque année de 2003 à 2009. Noter que l'échelle varie à chaque phase.

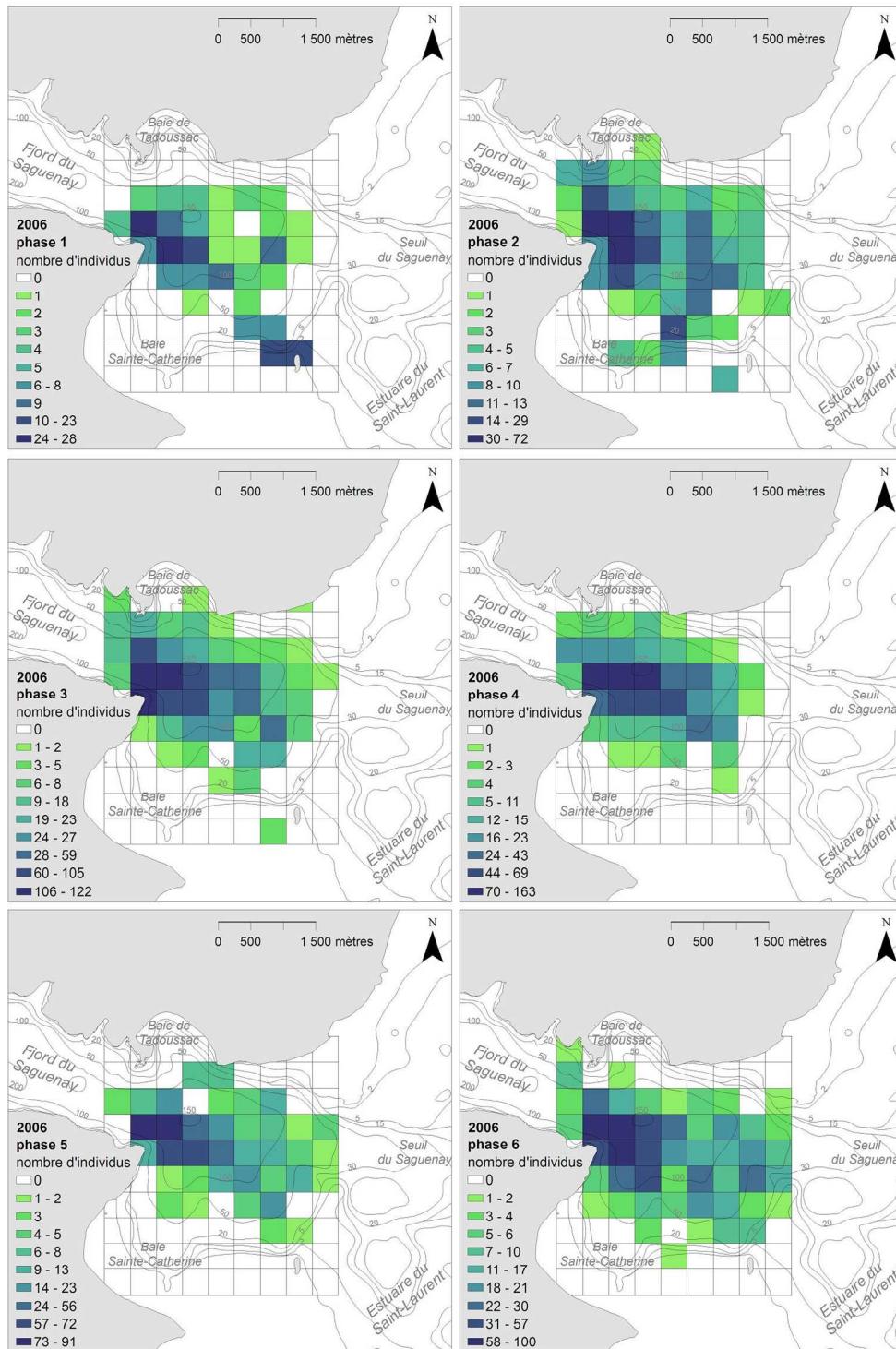


Figure A3.1 (suite) : Variation de la distribution spatiale des densités de bélugas (classées par déciles) à chaque phase de marée pour l'ensemble des données et pour chaque année de 2003 à 2009. Noter que l'échelle varie à chaque phase.

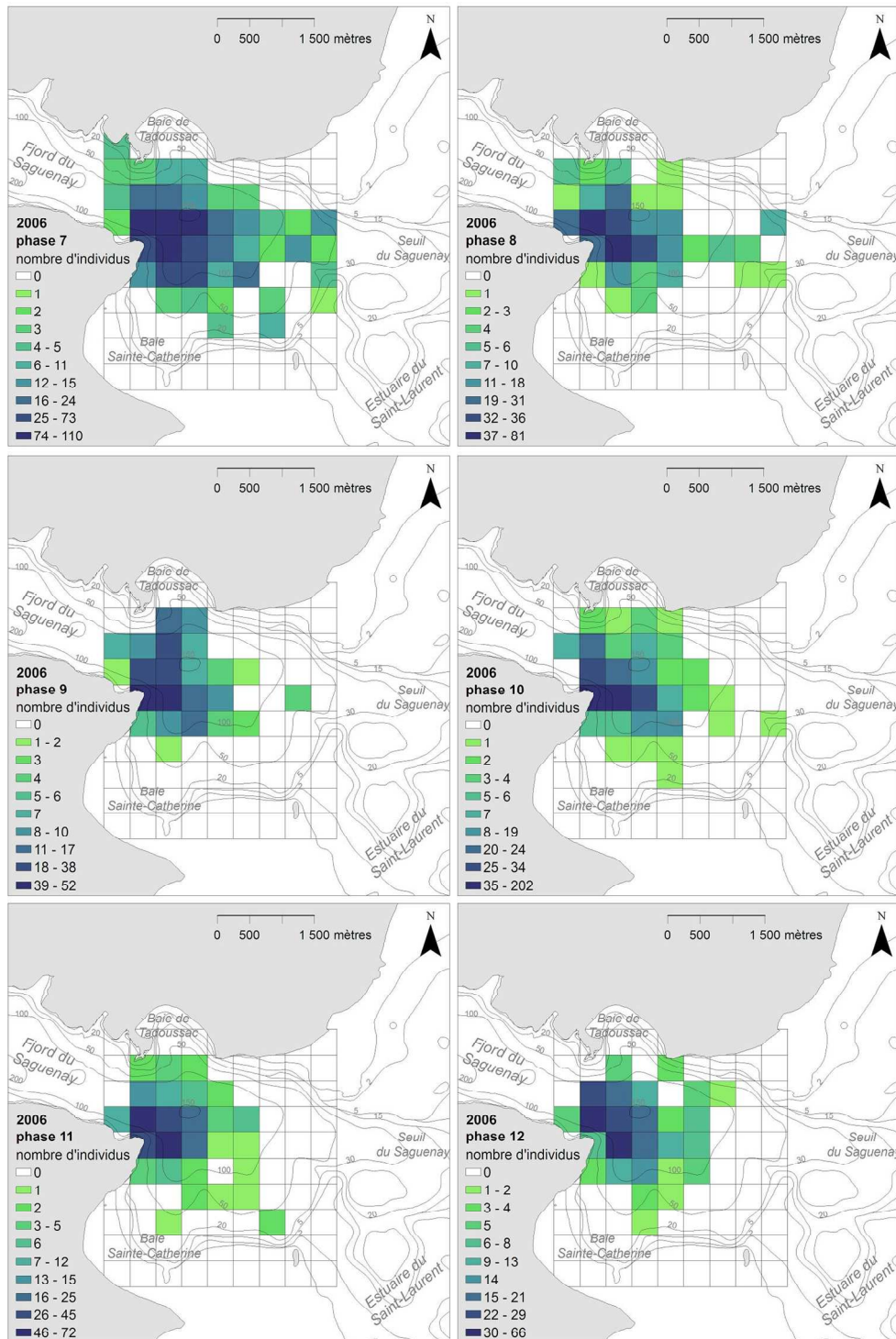


Figure A3.1 (suite) : Variation de la distribution spatiale des densités de bélugas (classées par déciles) à chaque phase de marée pour l'ensemble des données et pour chaque année de 2003 à 2009. Noter que l'échelle varie à chaque phase.

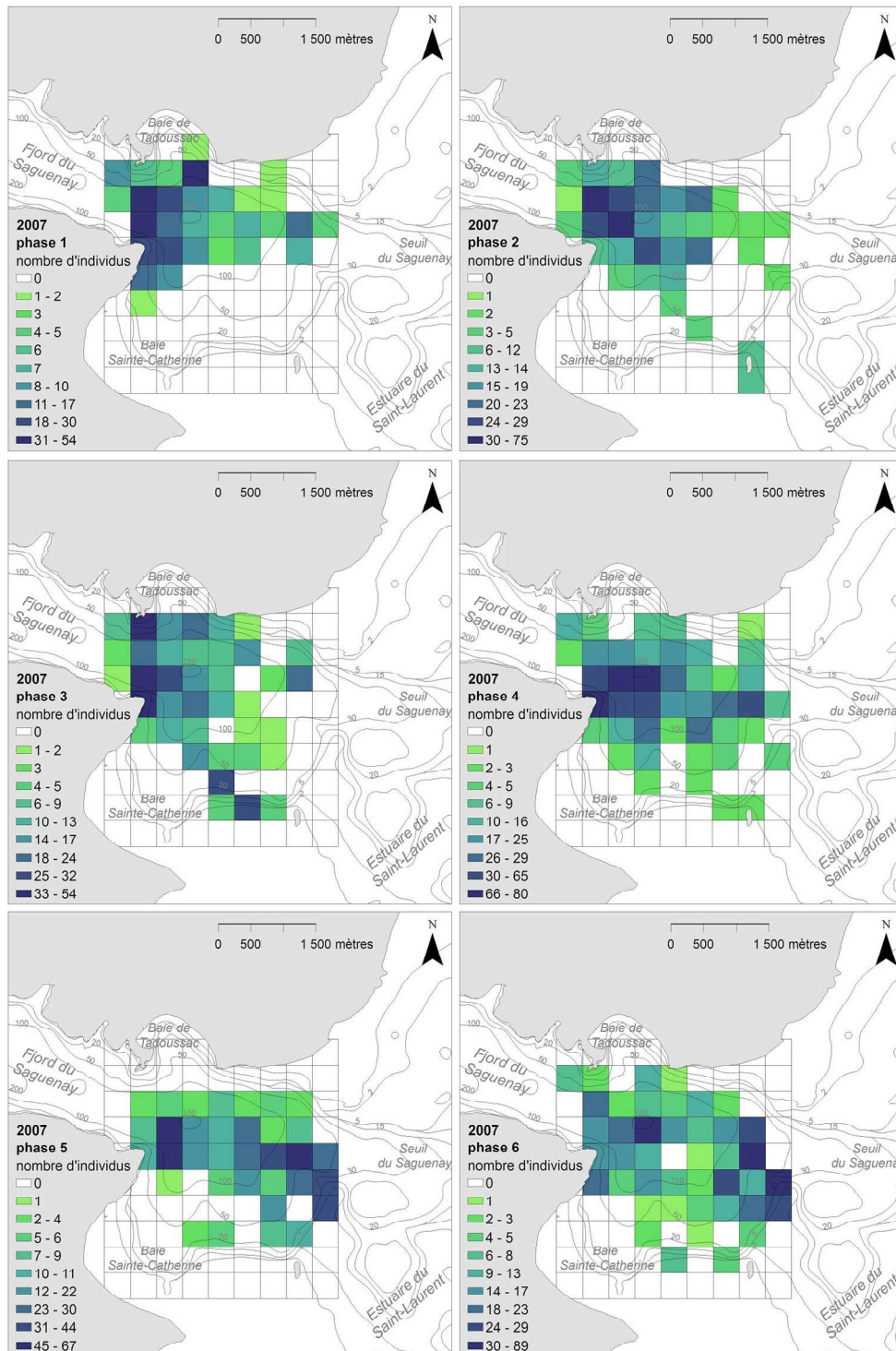


Figure A3.1 (suite) : Variation de la distribution spatiale des densités de bélugas (classées par déciles) à chaque phase de marée pour l'ensemble des données et pour chaque année de 2003 à 2009. Noter que l'échelle varie à chaque phase.

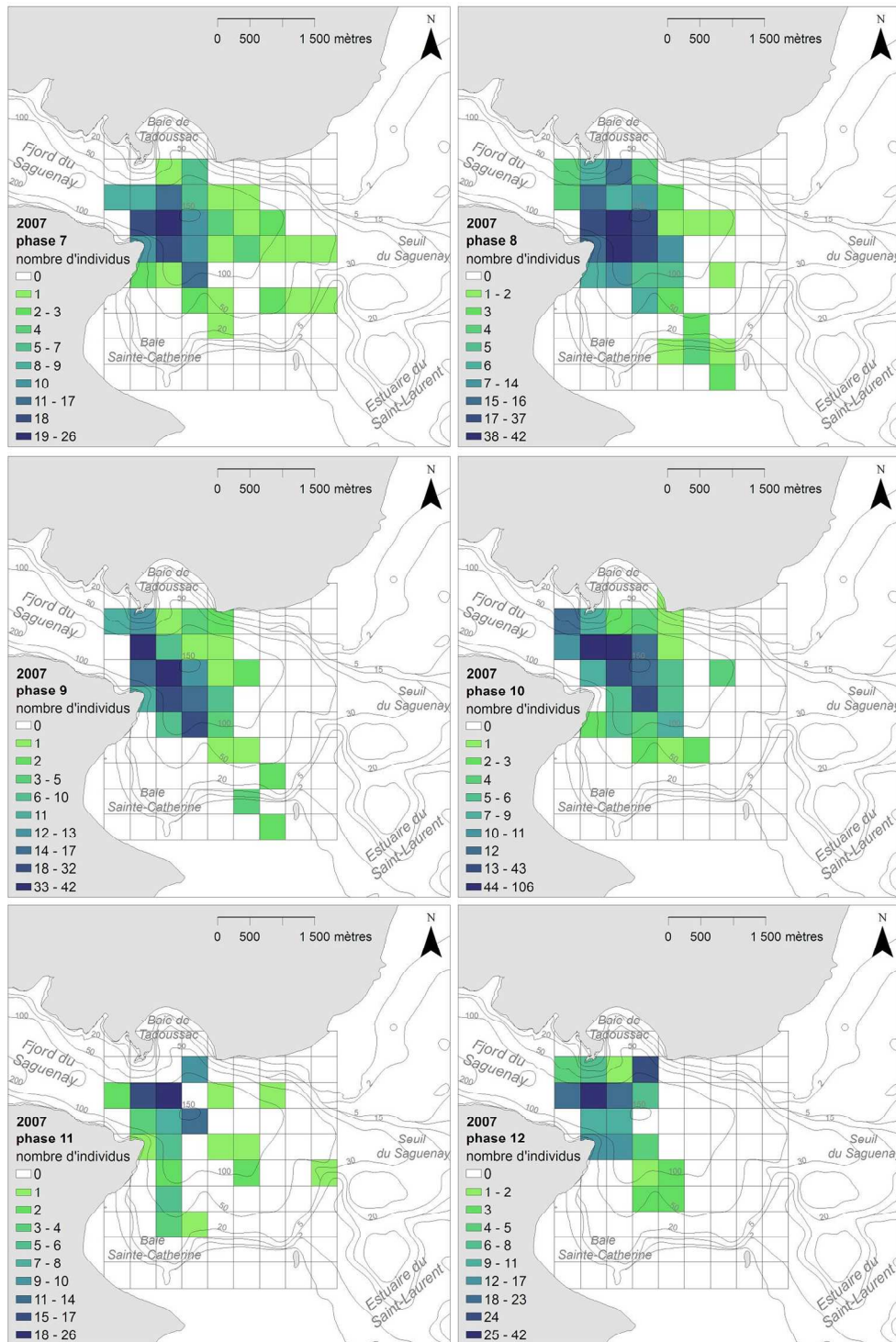


Figure A3.1 (suite) : Variation de la distribution spatiale des densités de bélugas (classées par déciles) à chaque phase de marée pour l'ensemble des données et pour chaque année de 2003 à 2009. Noter que l'échelle varie à chaque phase.

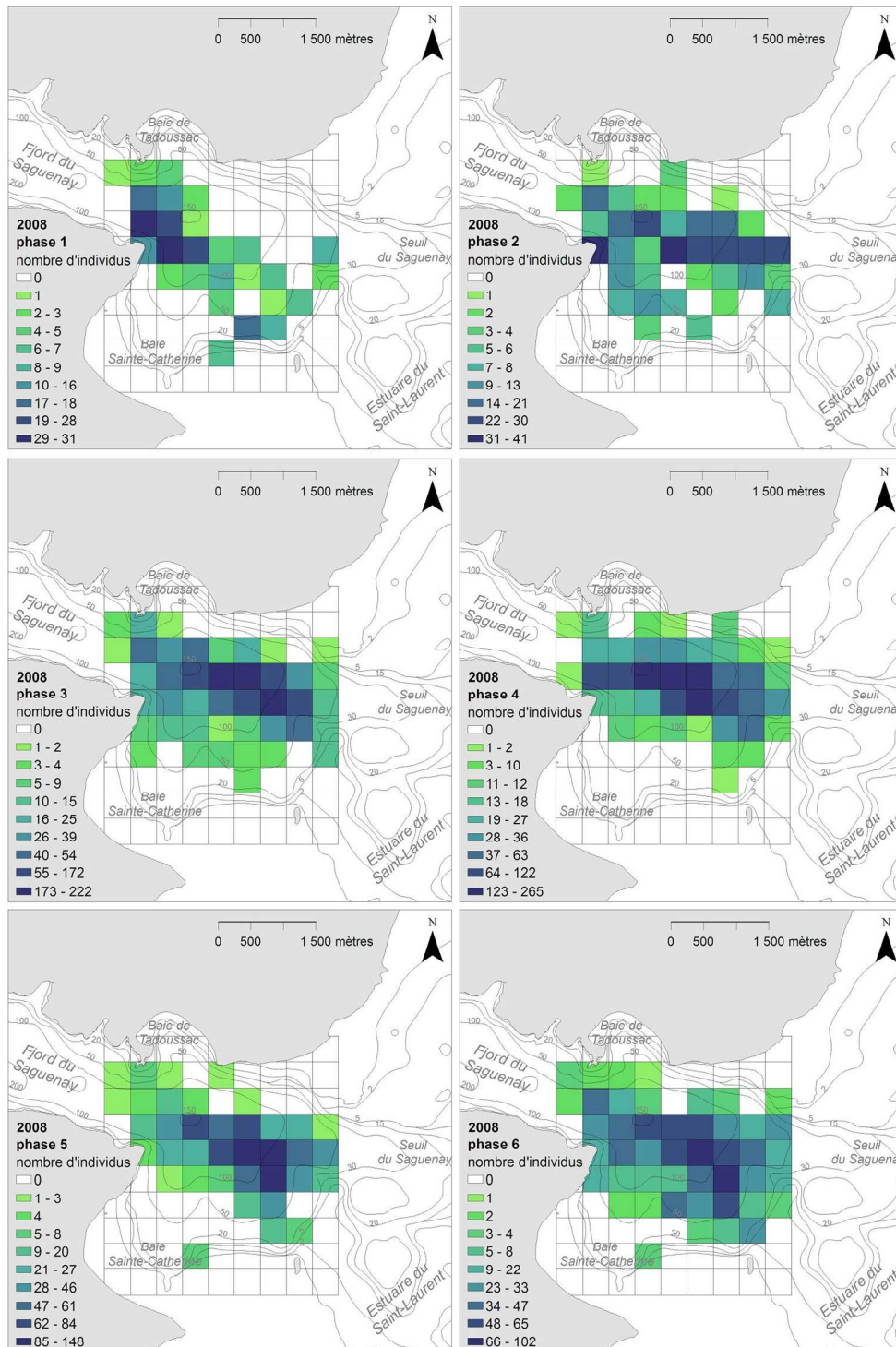


Figure A3.1 (suite) : Variation de la distribution spatiale des densités de bélugas (classées par déciles) à chaque phase de marée pour l'ensemble des données et pour chaque année de 2003 à 2009. Noter que l'échelle varie à chaque phase.

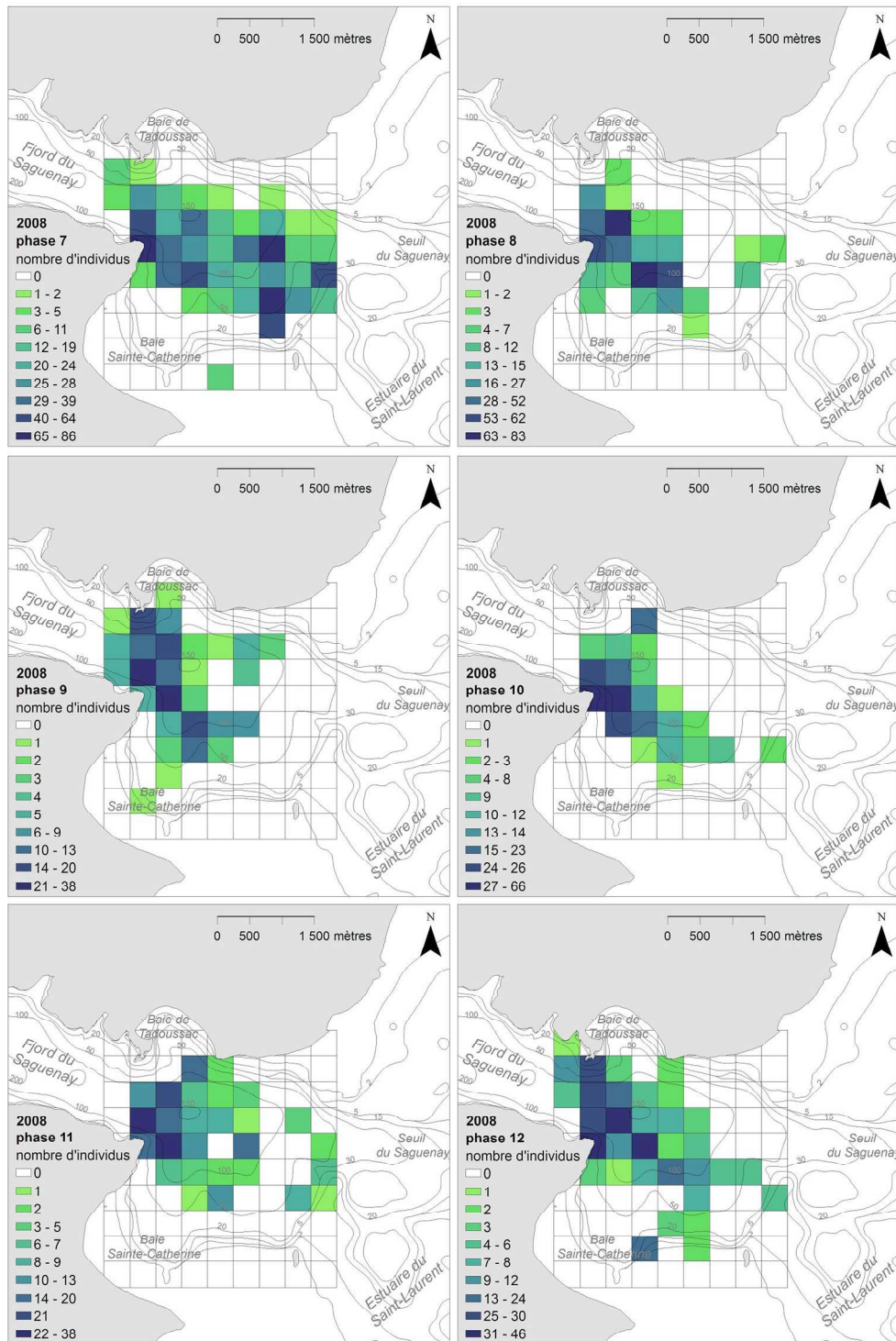


Figure A3.1 (suite) : Variation de la distribution spatiale des densités de bélugas (classées par déciles) à chaque phase de marée pour l'ensemble des données et pour chaque année de 2003 à 2009. Noter que l'échelle varie à chaque phase.

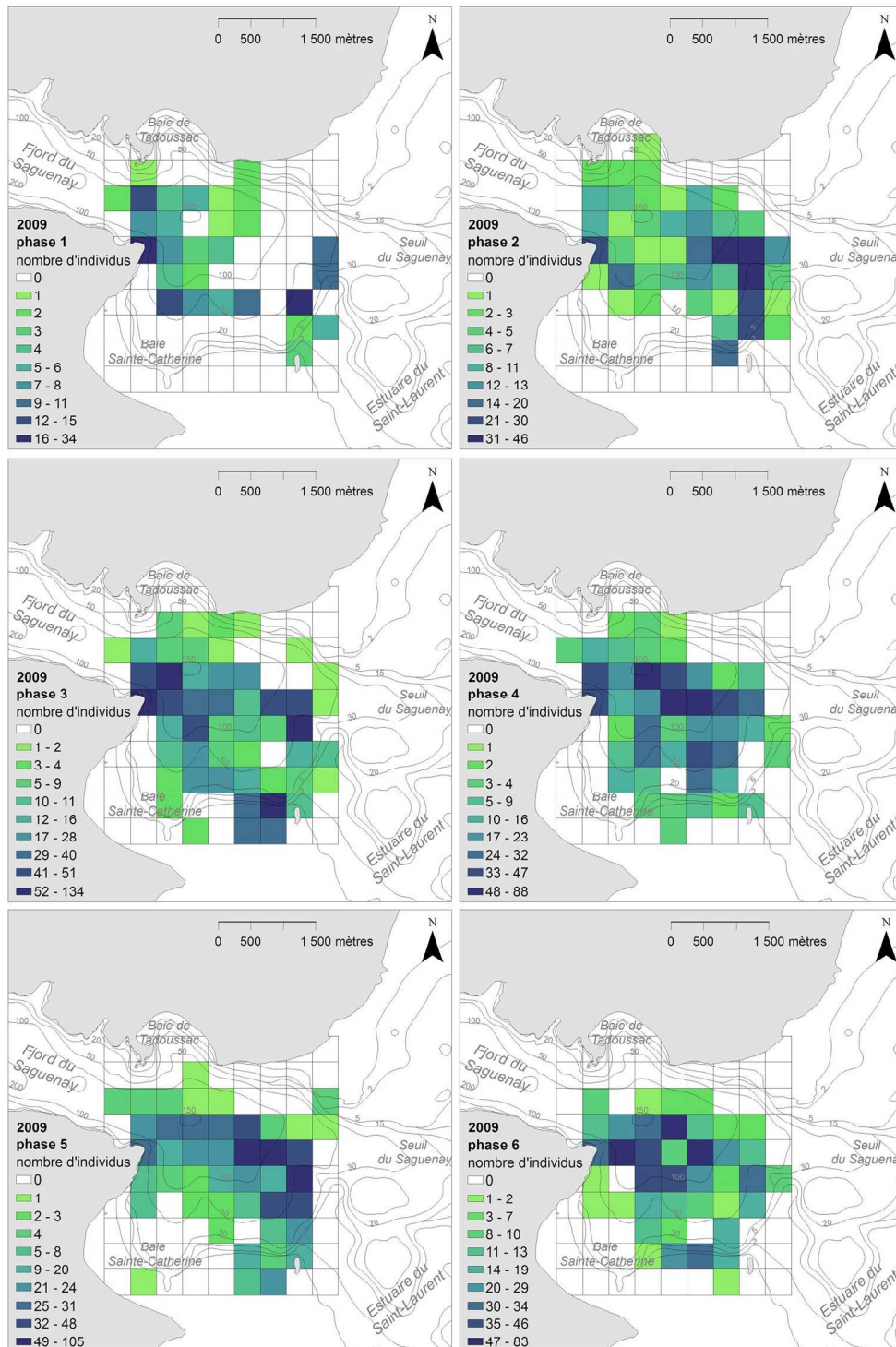


Figure A3.1 (suite) : Variation de la distribution spatiale des densités de bélugas (classées par déciles) à chaque phase de marée pour l'ensemble des données et pour chaque année de 2003 à 2009. Noter que l'échelle varie à chaque phase.

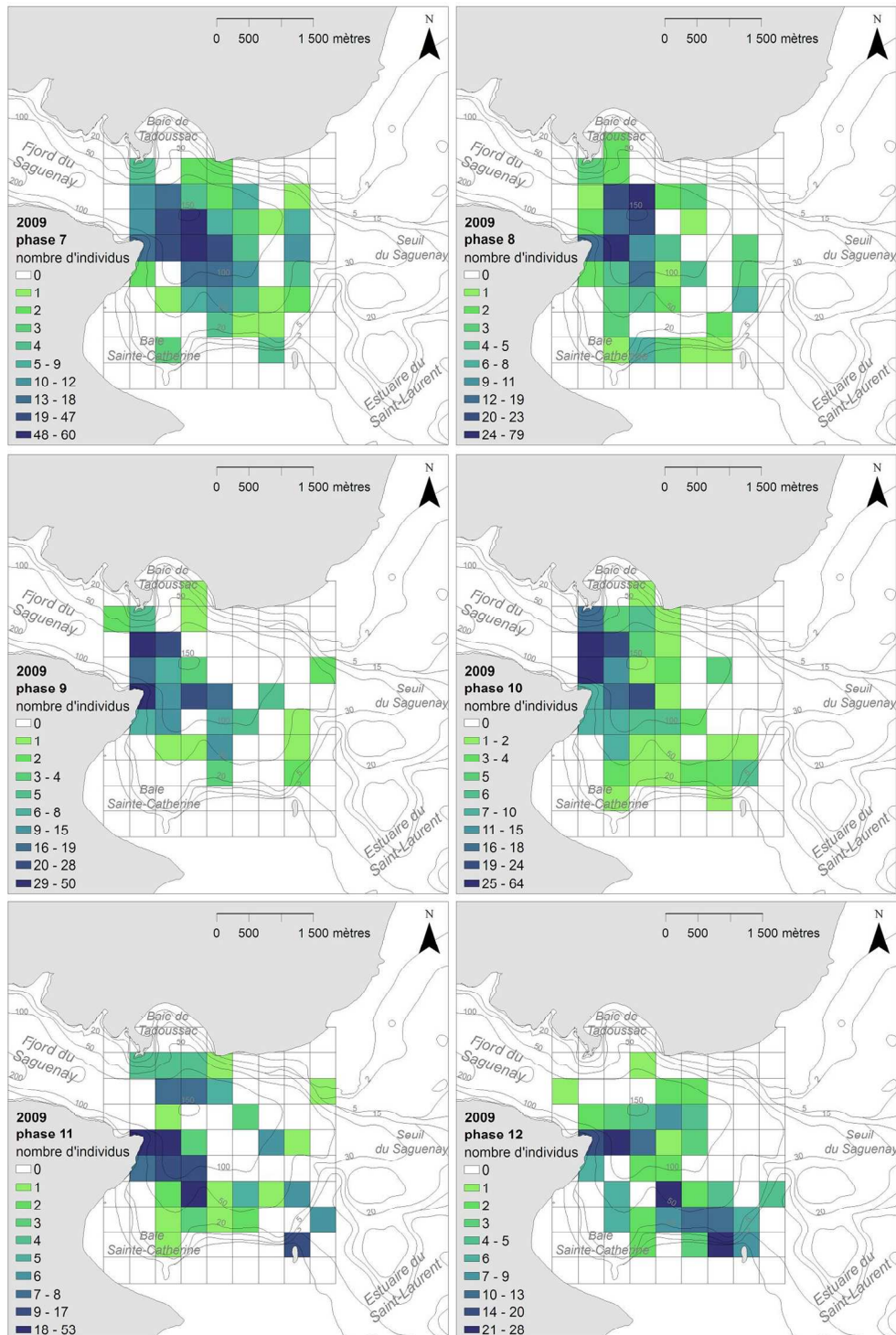


Figure A3.1 (suite) : Variation de la distribution spatiale des densités de bélugas (classées par déciles) à chaque phase de marée pour l'ensemble des données et pour chaque année de 2003 à 2009. Noter que l'échelle varie à chaque phase.

ANNEXE IV

Variation de l'achalandage maritime d'un mois à l'autre et d'une plage horaire à l'autre à chaque année de 2003 à 2009

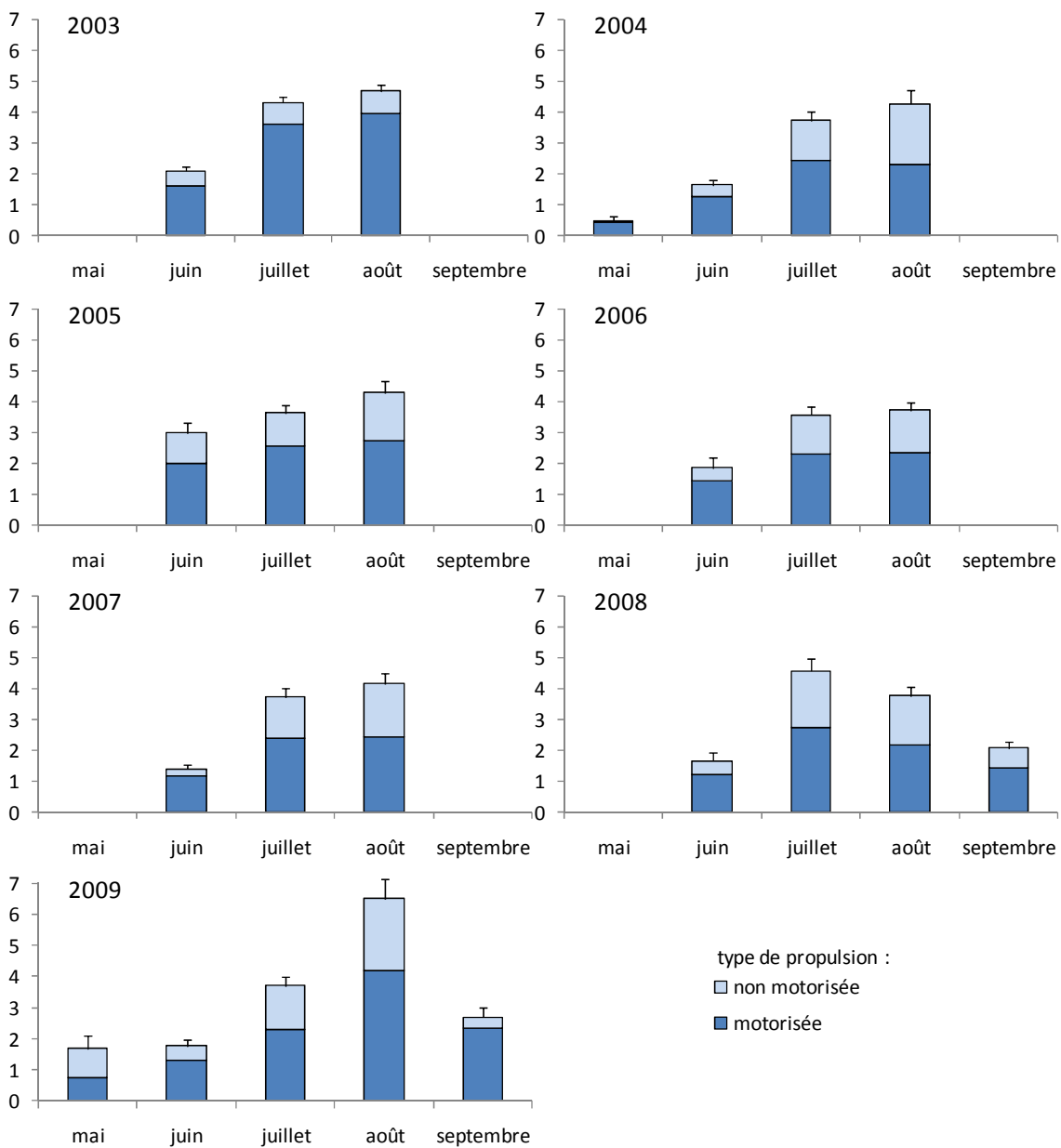


Figure A4.1 : Évolution du nombre moyen d'embarcations par BOI de 2003 à 2009, par tranches mensuelles, avec borne supérieure de l'IC 95 % et selon le type de propulsion.

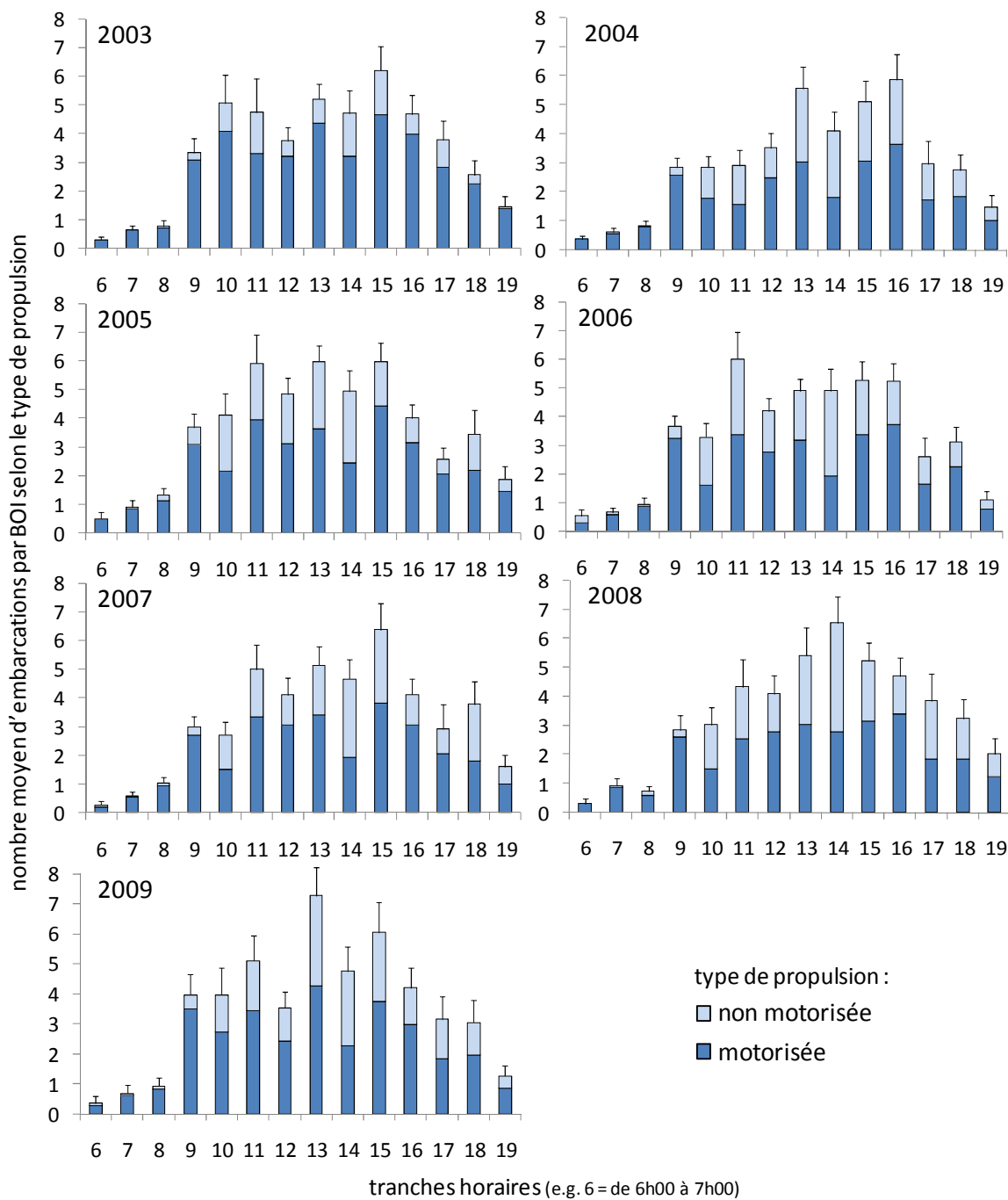


Figure A4.2 : Évolution du nombre moyen d'embarcations par BOI de 2003 à 2009, par tranches horaires, avec borne supérieure de l'IC 95 % et selon le type de propulsion.

ANNEXE V

Observations d'espèces de cétacés autres que le béluga

Tableau A5.1 : Statistiques descriptives sur les observations des espèces de cétacés autres que le béluga de 2003 à 2009.

Petit rorqual	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
nombre de BOI avec présence	480	461	262	83	517	137	444
nombre total d'individus observés	649	622	322	86	769	149	546
nombre maximal d'individus par BOI	5	6	4	2	5	3	5
Rorqual commun	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
nombre de BOI avec présence	20	0	0	0	0	15	6
nombre total d'individus observés	40	0	0	0	0	30	6
nombre maximal d'individus par BOI	4	0	0	0	0	3	1
Rorqual à bosse	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
nombre de BOI avec présence	0	0	0	0	0	0	37
nombre total d'individus observés	0	0	0	0	0	0	51
nombre maximal d'individus par BOI	0	0	0	0	0	0	3
Marsouin commun	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
nombre de BOI avec présence	0	1	0	0	0	0	16
nombre total d'individus observés	0	2	0	0	0	0	40
nombre maximal d'individus par BOI	0	2	0	0	0	0	7
nombre d'individus/BOI :	1	2	3	4	5	6	7
fréquence de BOI selon le nombre de :							
petits rorquals	1808	433	111	25	6	1	0
rorquals communs	19	12	7	3	0	0	0
rorquals à bosse	29	2	6	0	0	0	0
marsouins communs	4	8	2	1	1	0	1

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allen, M.C. et A.J. Read (2000). "Habitat selection of foraging bottlenose dolphins in relation to boat density near Clearwater, Florida". Mar. Mamm. Sci. **16**: 815-824.
- Aubin, T., P. Jouventin et C. Hildebrand (2000). "Penguins use the two-voice system to recognize each other". Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences **267**(1448): 1081-1087.
- Bailey, H. et P. Thompson (2010). "Effect of oceanographic features on fine-scale foraging movements of bottlenose dolphins". Mar. Ecol. Prog. Ser. **418**: 223-233.
- Bailey, R.F.J., K.W. Able et W.C. Leggett (1977). "Seasonal and vertical distribution and growth of juvenile and adult capelin (*Mallotus villosus*) in the St. Lawrence Estuary and western Gulf of St. Lawrence". J. Fish. Res. Board Can. **34**: 2030-2040.
- Barber, D.G., E. Saczuk et P.R. Richard (2001). "Examination of beluga-habitat relationships through the use of telemetry and geographic information system". Arctic **64**: 306-316.
- Baumgartner, M.F., T.V.N. Cole, R.G. Campbell, G.J. Teegarden et E.G. Durbin (2003). "Associations between North Atlantic right whales and their prey, *Calanus finmarchicus*, over diel and tidal time scales". Mar. Ecol. Prog. Ser. **264**: 155-166.
- Bédard, C. et R. Michaud (1995). Étude des activités d'observation en mer des cétacés de l'estuaire maritime du Saint-Laurent. Rapport final. Groupe de recherche et d'éducation sur le milieu marin, Tadoussac, Québec.
- Bédard, J., A. Nadeau, J.L. Savard et M.C.S. Kingsley (1997). La passe de l'Île aux Lièvres : importance stratégique pour la faune marine de l'estuaire. Rapport de projet, Société Duvetnor ltée, Rivière-du-Loup, QC, Canada: v + 69 pp. + 5 annexes.
- Behrens, J.W., K. Præbel et J.F. Steffensen (2006). "Swimming energetics of the Barents Sea capelin (*Mallotus villosus*) during the spawning migration period". J. Exp. Mar. Biol. Ecol. **331**: 208-216.
- Bejder, L., A. Samuels, H. Whitehead et N. Gales (2006). "Interpreting short-term behavioural responses to disturbance within a longitudinal perspective". Anim. Behav. **72**: 1149-1158.
- Béland, P., S. DeGuise et R. Plante. (1992). Toxicologie et pathologie des mammifères marins du Saint-Laurent. Fonds pour la toxicologie faunique du Fonds mondial pour la nature. 99 pp.
- Béland, P., A. Faucher et P. Corbeil (1990). "Observation on the birth of a beluga whale (*Delphinapterus leucas*) in the St. Lawrence estuary, Québec, Canada". J. Zool. **68**: 1327-1329.

- Béland, P., A. Vézina et D. Martineau (1988). "Potential for growth of the St. Lawrence (Quebec, Canada) beluga whale (*Delphinapterus leucas*) population based on modelling". *J. Cons. int. explor. mer.* **45**: 22-32.
- Bélangier, C. (2003). Observation and modelling of renewal event in the Saguenay Fjord. Thèse de Ph.D., Université du Québec à Rimouski, Québec. 225 pp.
- Benoit, F. (1998). Protocole d'étude: Caractérisation de l'utilisation de l'embouchure du Saguenay et de la baie Sainte-Catherine par le béluga (*Delphinapterus leucas*) du Saint-Laurent. Parc marin du Saguenay-Saint-Laurent, Tadoussac, Québec. 17 pp.
- Beyer, H.L. (2004). Hawth's analysis tools for ArcGIS. <http://www.spatial ecology.com/htools>, accessed 21 février 2011.
- Blane, J.M. (1990). Avoidance and interactive behaviour of the St. Lawrence beluga whale (*Delphinapterus leucas*) in response to recreational boating. Mémoire de M.Sc., Institute for environmental studies, University of Toronto, Canada. 43 pp.
- Blane, J.M. et R. Jaakson (1994). "The impact of ecotourism boats on the St. Lawrence beluga whales". *Environ. Conserv.* **21**: 267-269.
- Boivin, Y. et R. Michaud (1990). Survol aérien pour l'estimation de la distribution saisonnière et des déplacements des bélugas. Institut national d'écotoxicologie du Saint-Laurent, Montréal, Québec. 91 pp.
- Brodie, P.F. (1971). "A reconsideration of aspects of growth, reproduction, and behavior of the white whale (*Delphinapterus leucas*), with reference to the Cumberland Sound, Baffin Island, population". *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **28**: 1309-1318.
- Brodie, P.F. (1989). The white whale, *Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776). In handbook on marine mammals, S. H. Ridgway et R. Harrison (Eds.), Academic Press, London. **4**: 119-144.
- Burtenshaw, J.C., E.M. Oleson, J.A. Hildebrand, M.A. McDonald, R.K. Andrew, B.M. Howe et J.A. Mercer (2004). "Acoustic and satellite remote sensing of blue whale seasonality and habitat in the Northeast Pacific". *Deep-Sea Res. Pt. II* **51**: 967-986.
- Busque, V. (2006). Utilisation de la baie Sainte-Marguerite par le béluga du Saint-Laurent (*Delphinapterus leucas*) et les embarcations nautiques : rapport des saisons 2003 à 2005. Rapport présenté au parc marin du Saguenay-Saint-Laurent : Parcs Canada et la Société des établissements de plein air du Québec. Comité ZIP-Saguenay, Saguenay. 51 pp.
- Caron, L.M.J. et D.E. Sergeant (1988). "Yearly variation in the frequency of passage of beluga whales (*Delphinapterus leucas*) at the mouth of the Saguenay river, Quebec, over the past decade". *Nat. Can.* **115**: 111-116.
- Caron, L.M.J. et T.G. Smith (1990). Philopatry and site tenacity of belugas, *Delphinapterus leucas*, hunted by the Inuit at the Nataspoka estuary, eastern Hudson Bay In: Advances in research on the beluga whale, *Delphinapterus leucas*, Smith, T.G., St. Aubin, D.J., Geraci, J.R. (eds), Ottawa. **224**: 69-79.
- Chadenet, V. (1997). Fréquentation et bilan d'activité du béluga (*Delphinapterus leucas*) du Saint-Laurent dans la baie Sainte-Marguerite. Mémoire de M.Sc., Université Laval, Québec. 75 pp.

- 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. Présenté à Parcs Canada. 86 pp.
- Cloutier, S. (2004). Observation du béluga (*Delphinapterus leucas*) du Saint-Laurent à l'embouchure du fjord du Saguenay: Protocole d'observation et de représentation cartographique, Université de Sherbrooke, Québec. 84 pp.
- Cloutier, S. (2009). Fjord du Saguenay : Courantologie et structures dynamiques dans la région de l'embouchure. Mémoire de M.Sc., Université du Québec à Rimouski, Rimouski, Québec. 201 pp.
- Constantine, R., D.H. Brunton et T. Dennis (2004). "Dolphin-watching tour boats change bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) behaviour". Biol. Conserv. **117**: 299-307.
- Conversano, M. (2010). Caractérisation de l'utilisation de l'embouchure du Saguenay et de la Baie-Sainte-Catherine par le béluga (*Delphinapterus leucas*) du Saint-Laurent : Saison 2009. Rapport présenté au parc marin du Saguenay-Saint-Laurent. Parcs Canada, Tadoussac, Québec, 32 pp.
- COSEPAC (2004). Évaluation et rapport de situation du COSEPAC sur le béluga (*Delphinapterus leucas*) au Canada - Mise à jour, Comité sur la situation des espèces en péril au Canada, Ottawa. x + 77 pp.
- Côté, R. et G. Lacroix (1979). "Variabilité journalière de la chlorophylle a et des taux de production primaire dans le fjord du Saguenay". Nat. can. **106**: 189-198.
- Doniol-Valcroze, T. (2008). Habitat selection and niche characteristics of rorqual whales in the northern gulf of St. Lawrence (Canada) Thèse de Ph.D., McGill University, Montreal. 170 pp.
- Drainville, G. (1968). "Le fjord du Saguenay: contribution à l'océanographie". Nat. Can. **95**: 809-855.
- Erbe, C. (2008). "Critical ratios of beluga whales (*Delphinapterus leucas*) and masked signal duration". J. Acoust. Soc. Am. **124**(4): 2216-2223.
- Finley, K.J., G.W. Miller, M. Allard, R.A. Davis et C.R. Evans (1982). "Les Bélugas (*Delphinapterus leucas*) du Nouveau-Québec : distribution, abondance, identification des stocks, historique des captures et gestion". Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. **1123**: v + 57 pp.
- Fraker, M.A., C.D. Gordon, J.W. McDonald, J.K.B. Ford et G. Chambers (1979). White whale (*Delphinapterus leucas*) distribution and abundance and the relationship to physical and chemical characteristics of the Mackenzie Estuary. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. **863**: 59 pp.
- Gaskin, D.E., G.J.D. Smith et A.P. Watson (1975). "Preliminary study of movements of harbor porpoises (*Phocoena phocoena*) in the Bay of Fundy using radiotelemetry". Can. J. Zool. **53**: 1466-1471.
- Gautier, S. (2012). Qualité nutritive des habitats pélagiques du béluga dans l'estuaire du Saint-Laurent: Modélisation des interactions prédateur/proies pélagiques par observations hydroacoustiques. Mémoire de M.Sc., Université du Québec à Rimouski, Québec. XVIII + 124 pp.

- 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". J. Acoust. Soc. Am. **132**: 76-89.
- Gosselin, J.-F., M.O. Hammill et V. Lesage (2007). Comparaison des indices d'abondance photographique et visuels des bélugas de l'estuaire du Saint-Laurent en 2003 et 2005. Sec. Can. Consult. Sci. **2007/025**: 31 pp.
- Gosselin, J.-F., V. Lesage et A. Robillard (2001). Population index estimate for the beluga of the St. Lawrence Estuary in 2000. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. **2001/049**: 21 pp.
- Hammill, M.O., L.N. Measures, J.-F. Gosselin et V. Lesage (2007). Lack of Recovery in St. Lawrence Estuary beluga. Can. Sci. Advis. Sec. **2007/026**: ii + 19 p.
- Hansen, S.E. (1987). White whale (*Delphinapterus leucas*) distribution and abundance in relation to water temperature, salinity and turbidity in the Churchill River estuary. Mémoire de M.Sc., Laurentian University, Ontario. 150 pp.
- Harington, C.R. (1977). "Marine mammals in the Champlain Sea and the Great Lakes". Ann. N.- Y. Acad. Sci. **288**: 508-537.
- Hastie, G.D., B. Wilson, L.J. Wilson, K.M. Parsons et P.M. Thompson (2004). "Functional mechanisms underlying cetacean distribution patterns: hotspots for bottlenose dolphins are linked to foraging". Mar. Biol. **144**: 397-403.
- Haug, T., H. Gjøsæter, U. Lindstrøm et K.T. Nilssen (1995). "Diet and food availability for north-east Atlantic minke whales (*Balaenoptera acutorostrata*), during the summer of 1992". ICES J. Mar. Sci **52**: 77-86.
- Heide-Jørgensen, M.P. et J. Teilmann (1994). "Growth, reproduction, age structure and feeding habits of white whales (*Delphinapterus leucas*) in West Greenland waters". Meddr Grønland Bioscience **39**: 195-212.
- Ingram, R.G. (1976). "Characteristics of a tide-induced estuarine front". J. Geophys. Res. **81**: 1951-1959.
- Ingram, R.G. (1985). "Frontal characteristics at the head of the Laurentian channel". Nat. Can. **112**: 31-38.
- Irvine, A.B., M.D. Scott, R.S. Wells et J.H. Kaufmann (1981). "Movements and activities of the Atlantic bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*, near Sarasota, Florida". Fish. Bull. U.S. **79**: 671-688.
- Jaquet, N. et D. Gendron (2002). "Distribution and relative abundance of sperm whales in relation to key environmental features, squid landings and the distribution of other cetacean species in the Gulf of California, Mexico.". Mar. Biol. **141**: 591-601.
- Jelinski, D.E., C.C. Krueger et D.A. Duffus (2002). "Geostatistical analysis of interactions between killer whales (*Orcinus orca*) and recreational whale-watching boats". Appl. Geogr. **22**: 393-411.
- Johnston, D.W., L.H. Thorne et A.J. Read (2005). "Fin whales *Balaenoptera physalus* and minke whales *Balaenoptera acutorostrata* exploit a tidally driven island wake ecosystem in the Bay of Fundy". Marine Ecology Progress Series **305**: 287-295.
- Keselman, H.J. (1976). "A power investigation of the Tukey multiple comparison statistics". Educ. Psychol. Meas. **36**: 97-104.

- Kingsley, M.C.S. (1993). Census, trend, and status of the St. Lawrence beluga population in 1992. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. **1938**: 17 pp.
- Kingsley, M.C.S. (1996). Estimation d'un indice d'abondance de la population de bélugas du Saint-Laurent en 1995. Rap. Tech. Can. Sci. Halieut. Aquat. **2117**: 42 pp.
- Kingsley, M.C.S. (1999). Population indices and estimates for the belugas of the St. Lawrence Estuary. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. **2266**: vii + 27 pp.
- Kingsley, M.C.S. et I. Gauthier (2002). "Visibility of St Lawrence belugas to aerial photography, estimated by direct observation". NAMMCO Scientific Publications **4**: 259-270.
- Kingsley, M.C.S. et M.O. Hammill (1991). Photographic census surveys of the St. Lawrence beluga population, 1988 and 1990. Can. Tech. Rep. Fish. Aqua. Sci. **1776**.
- Kleinenberg, S.E., A.V. Yablokov, B.M. Bel'kovich et M.N. Tarassevich (1964). Beluga, *Delphinapterus leucas*, investigation of the species, Akad. Nauk., Moscow, USSR. 376 pp.
- Lair, S. (2007). Programme de nécropsie - Suivi de la santé de la population de béluga de l'estuaire du Saint-Laurent à l'aide de l'examen post-mortem des carcasses échouées. Dans : Compte-rendu de l'atelier sur le béluga de l'estuaire du Saint-Laurent - Revue du programme des carcasses. . Sec. Can. Consult. Sci. **2007/005**: 11-14.
- Laurin, J. (1982). Étude écologique et éthologique de la population de bélugas (*Delphinapterus leucas*) du fjord du Saguenay, Québec. Mémoire de M.Sc., Université de Montréal, Québec. 145 pp.
- 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". Can. J. Fish. Aquat. Sci. **57**: 1853-1869.
- Legendre, P. et L. Legendre (1998). Numerical ecology, 2nd English ed, Elsevier Science BV, Amsterdam. 853 pp.
- Lemieux-Lefebvre, S. (2009). Déplacements et patrons de résidence chez la population de bélugas (*Delphinapterus leucas*) de l'estuaire du St-Laurent. Mémoire de M.Sc., Université du Québec à Rimouski, Rimouski, Québec. 120 pp.
- 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". Mar. Ecol. Prog. Ser. **450**: 243-257.
- Lesage, V. (1993). Effet de la circulation plaisancière et d'un traversier sur le comportement vocal et social du béluga du Saint-Laurent (*Delphinapterus leucas*). Mémoire de M.Sc., Université Laval, Québec. 141 pp.
- Lesage, V., C. Barrette, M.C.S. Kingsley et B. Sjare (1999). "The effect of vessel noise on the vocal behavior of belugas in the St. Lawrence River Estuary, Canada". Mar. Mamm. Sci. **15**: 65-84.

- Lesage, V. et M.C.S. Kingsley (1995). Bilan des connaissances de la population de bélugas (*Delphinapterus leucas*) du Saint-Laurent. Rap. Tech. Can. Sci. Halieut. Aquat. **2041**: vi+44p.
- Lesage, V. et M.C.S. Kingsley (1998). "Updated status of the St. Lawrence River population of the beluga, *Delphinapterus leucas*". Can. Field-Nat. **112**: 98-114.
- Lowry, L.F., K.J. Frost et G.A. Seaman (1985). Investigations of belukha whales in coastal waters of western and northern Alaska. III. Food habits. Alaska Dept. Fish & Game. Fairbanks, AK. 24 p.
- Lynas, E.M. (1985). Whale research activities in the St. Lawrence river Estuary, 1985. Report to the Ministry of Fisheries and Oceans, Quebec. FR8501-Pickering, Ontario: Ocean Research information Society
- Macleod, K., R. Fairbairns, A. Gill, B. Fairbairns, J. Gordon, C. Blair-Myers et E.C.M. Parsons (2004). "Seasonal distribution of minke whales *Balaenoptera acutorostrata* in relation to physiography and prey off the Isle of Mull, Scotland". Mar. Ecol. Prog. Ser. **277**: 263-274.
- Marchand, C., Y. Simard et Y. Gratton (1999). "Concentration of capelin (*Mallotus villosus*) in tidal upwelling fronts at the head of the Laurentian Channel in the St. Lawrence Estuary". Can. J. Fish. Aquat. Sci. **56**: 1832-1848.
- Martin, A.R. et R.R. Reeves (2000). Status of Monodontid whales. J. Cetac. Res. Manage., Reports of the International Whaling Commission, scientific committee, Annex 1. **2**: 243-251.
- Martineau, D. (2007). "Potential synergism between stress and contaminants in free-ranging cetaceans". Int. J. Comp. Psychol. **20**: 194-216.
- McBride, A.F. et D.O. Hebb (1948). "Behavior of captive bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*". J. Comp. Physiol. Psychol. **41**: 111-123.
- McBride, A.F. et H. Kritzler (1951). "Observations on pregnancy, parturition, and post-natal behavior in the bottlenose dolphin". J. Mammal **32**: 251-266.
- McQuinn, I.H., V. Lesage, D. Carrier, G. Larrivée, Y. Samson, S. Chartrand, R. Michaud et J. Therriault (2011). "A threatened beluga (*Delphinapterus leucas*) population in the traffic lane: vessel-generated noise characteristics of the Saguenay-St. Lawrence Marine Park, Canada". J. Acoust. Soc. Am. **130**: 3661-3673.
- Ménard, N. (1998). Répartition spatiale et structure des bancs de poissons pélagiques dans une aire d'alimentation des cétacés de l'estuaire du Saint-Laurent. Mémoire de M.Sc., Université Laval, Québec. 107pp.
- Ménard, N., V. Busque et S. Turgeon (2009). La science au service de la conservation de l'habitat du béluga : Un projet pilote au parc marin du Saguenay-Saint-Laurent (Québec, Canada). Poster présenté à la 18th Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals, Octobre 12-16, Québec, Canada.
- Ménard, N., M. Pagé, V. Busque, I. Croteau, R. Picard et D. Gobeil. (2007). Rapport sur l'état du parc marin du Saguenay-Saint-Laurent, Agence Parcs Canada: 81 pp.
- Michaud, R. (1990). Distribution estivale et mouvements des bélugas (*Delphinapterus leucas*) dans l'estuaire du Saint-Laurent. Mémoire de M.Sc., Université Laval, Québec. 71 pp.

- Michaud, R. (1992). Fréquentation de la baie Sainte-Marguerite par le béluga du Saint-Laurent (*Delphinapterus leucas*), Rapport final présenté au Ministère des Pêches et Océans, Institut Maurice-Lamontagne et au service canadien des parcs, Institut National d'Écotoxicologie du Saint-Laurent, Tadoussac, Québec. Contrat # FP 707 1 517. 134 pp.
- Michaud, R. (1993). Distribution estivale du béluga du Saint-Laurent ; synthèse 1986 à 1992. Rap. Tech. Can. Sci. Halieut. Aquat. **1906**: vi + 28p.
- Michaud, R. (1994). Taille et composition des troupeaux de bélugas du Saint-Laurent, Institut National d'Écotoxicologie du Saint-Laurent: 19 pp.
- Michaud, R. et P. Béland (2001). "Looking for trends in the endangered St. Lawrence beluga population. A critique of Kingsley, M.C.S., 1998". Mar. Mamm. Sci. **17**: 206-212.
- Michaud, R. et V. Chadenet (1990). Survol aérien pour l'estimation de la distribution printanière des bélugas du Saint-Laurent. Montréal, Institut National d'écotoxicologie du Saint-Laurent: 36 pp.
- 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 et PMSL, Tadoussac. 13 pp.
- Michaud, R., A. Vézina, N. Rondeau et Y. Vigneault (1990). "Annual distribution and preliminary characterization of beluga (*Delphinapterus leucas*) habitats in the St. Lawrence, Québec.". Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. **1757**: v + 31 p.
- Mitchell, E. (1975). Trophic relationships and competition for food in the Northwest Atlantic whales. M.D.B. Burt (ed.), compte rendu de la reunion annuelle de la Société canadienne de zoologie: 123-133.
- Mosnier, A., V. Lesage, J.-F. Gosselin, S. Lemieux-Lefebvre, M.O. Hammill et T. Doniol-Valcroze (2010). Information relevant to the documentation of habitat use by St. Lawrence beluga (*Delphinapterus leucas*), and quantification of habitat quality. Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. **2009/098**: IV + 35 pp.
- MPO (1997). "Atlas des courants de marée. Estuaire du Saint-Laurent du cap de Bon-Désir à Trois-Rivières". 108 pp.
- MPO (2005). Compte rendu de la réunion portant sur l'évaluation du potentiel de rétablissement des populations de béluga (*Delphinapterus leucas*) du détroit de Cumberland, de la baie d'Ungava, de l'est de la baie d'Hudson et du Saint-Laurent. Sec. Can. Consult. Sci. **2005/011**: 86 pp.
- MPO (2011). Evaluation du stock de capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (division 4RST) en 2010. Sec. Can. Consult. Sci. **2011/008**: 93 + XI pp.
- MPO (2012). Programme de rétablissement du béluga (*Delphinapterus leucas*), population de l'estuaire du Saint-Laurent au Canada, Pêches et Océans Canada, série de programmes de rétablissement de la loi sur les espèces en péril, Ottawa: XI + 93 pp.

- MPO et WWF (1995). Plan de rétablissement du béluga du Saint-Laurent, Pêches et Océans Canada et fonds mondial pour la nature. Préparé par l'équipe de rétablissement du béluga du Saint-Laurent. 73 pp.
- Munro, J., D. Gauthier et J.A. Gagné (1998). Description d'une frayère de hareng (*Clupea harengus L.*) à l'Île aux Lièvres, dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Rap. Tech. Can. Sci. Halieut. Aquat. **2239**: 34 pp.
- Naud, M.J., B. Long, J.C. Brêthes et R. Sears (2003). "Influences of underwater bottom topography and geomorphology on minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*) distribution in the Mingan Islands (Canada)". J. Mar. Biol. Assoc. UK. **83**: 889-896.
- Nowacek, S.M., R.S. Wells et A.R. Solow (2001). "Short-term effects of boat traffic on bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, in Sarasota Bay, Florida". Mar. Mamm. Sci. **17**: 673-688.
- Patenaude, N., J.S. Quinn, P. Béland, M. Kingsley et B.N. White (1994). "Genetic variation of the St. Lawrence beluga whale population assessed by DNA fingerprinting". Mol. Ecol. **3**: 375-381.
- Payne, P.M., D.N. Wiley, S.B. Young, S. Pittman, P.J. Clapham et J.W. Jossi (1990). "Recent fluctuations in the abundance of baleen whales in the southern Gulf of Maine in relation to changes in selected prey". Fish. Bull. **88**: 687-696.
- PESCA Environnement (2006). Inventaire de mammifères marins dans le secteur de Gros Cacouna. Rapport final: 34 pp.
- Pierpoint, C. (2008). "Harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) foraging strategy at a high energy, near-shore site in southwest Wales, UK". J. Mar. Biol. Assoc. UK **88**: 1167-1173.
- Pippard, L. (1985a). Patterns of movement of the St. Lawrence white whales (*Delphinapterus leucas*). Technical report presented to Canadian Wildlife Service and Parks Canada, Ottawa: 225 pp.
- Pippard, L. (1985b). "Status of the St. Lawrence river population of beluga (*Delphinapterus leucas*)". Can. Field-Nat. **99**: 438-450.
- Pippard, L. et H. Malcolm (1978). White whales (*Delphinapterus leucas*). Observations on their distribution, population and critical habitats in the St. Lawrence and Saguenay rivers. Unpublished report for Department of Indian and Northern Affairs, Ottawa. Contract 76-190: 161 pp.
- Prescott, J. et M. Gauquelin (1990). Pour l'avenir du béluga : compte rendu du Forum international pour l'avenir du béluga. Presses de l'Université du Québec, Sillery, Québec. 345 pp.
- Read, A.J. (1983). Movements and distribution patterns of harbour porpoises, *Phocoena phocoena* (L.), in the western Bay of Fundy. Mémoire de M.Sc., University of Guelph, Ontario.
- Richardson, W.J., C.J. Greene, C. Malme et D. Thomson (1995). Marine Mammals and Noise, Academic Press, San Diego. 576 pp.
- Roy, N., Y. Simard et C. Gervaise (2010). "3D tracking of foraging belugas from their clicks: Experiment from a coastal hydrophone array". Appl. Acoust. **71**: 1050-1056.

- Rugh, D.J., K.E.W. Shelden et B.A. Mahoney (2000). "Distribution of beluga whales in Cook Inlet, Alaska, during June/July 1993-99". Mar. Fish. Rev. **62**: 6-21.
- Saucier, F.J. et J. Chassé (2000). "Tidal circulation and buoyancy effects in the St. Lawrence Estuary". Atmos.-Ocean. **38**: 505-556.
- Schafer, C.T., J.N. Smith et R. Côté (1990). The Saguenay Fjord: A Major Tributary to the St. Lawrence Estuary. In: Oceanography of a large-scale estuarine system: the St. Lawrence, El-Sabh M.I., Silverberg, N.(eds). Springer Verlag: 378-420.
- Scheifele, P.M., S. Andrew, R.A. Cooper, M. Darre, F.E. Musiek et L. Max (2005). "Indication of a Lombard vocal response in the St. Lawrence River beluga". J. Acoust. Soc. Am. **117**: 1486-1492.
- Scherrer, B. (2007). Biostatistique, G. Morin, 2nd ed., Chenelière éducation, Montréal, Québec. 816 pp.
- Schevill, W.E. et R.H. Backus (1960). "Daily patrol of a Megaptera". J. Mammal. **41**: 279-281.
- Seaman, G.A. et J.J. Burns (1981). "Preliminary results of recent studies of belukhas in Alaskan waters". Rep. Int. Whal. Comm. **31**: 567-574.
- Seaman, G.A., L.F. Lowry et K.J. Frost (1982). "Foods of belukha whales (*Delphinapterus leucas*) in western Alaska". Cetology **44**: 1-19.
- Seibert, G.H., R.W. Trites et S.J. Reid (1979). "Deepwater exchange processes in the Saguenay Fjord". J. Fish. Res. Board Can. **36**: 42-53.
- Sergeant, D.E. (1963). "Minke whales, *Balaenoptera acutorostrata* L., of the western North Atlantic". J. Fish. Res. Board Can. **20**: 1489-1505.
- Sergeant, D.E. (1973). "Biology of white whales (*Delphinapterus leucas*) in Western Hudson Bay". J. Fish. Res. Board Can. **30**: 1065-1090.
- Sergeant, D.E. (1986). "Present status of white whales (*Delphinapterus leucas*) in the St. Lawrence Estuary". Nat. Can. **113**: 61-81.
- Sergeant, D.E. et W. Hoek (1988). "An update of the status of white whales *Delphinapterus leucas* in the St. Lawrence Estuary, Canada". Biol. Conserv. **45**: 287-302.
- Shaffer, S.A., D.P. Costa, T.M. Williams et S.H. Ridgway (1997). "Diving and swimming performance of white whales, *Delphinapterus leucas*: an assessment of plasma lactate and blood gas levels and respiratory rates". J. Exp. Biol. **200**: 3091-3099.
- Shane, S.H. (1980). "Occurrence, movements, and distribution of bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*, in southern Texas". Fish. Bull. U.S. **78**: 593-601.
- Simard, Y. (2009). "Le Parc Marin 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**: 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". Can. J. Fish. Aquat. Sci. **56**: 1182-1197.

- 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". Can. J. Fish. Aquat. Sci. **59**: 197-210.
- Simard, Y., N. Roy, S. Giard, C. Gervaise, M. Conversano et N. Ménard (2010). "Estimating whale density from their whistling activity: Example with St. Lawrence beluga". Appl. Acoust. **71**: 1081-1086.
- Simard, Y., N. Roy, F. Saucier, J. Gagné et S. Giard (2008). Acoustic insight into the dynamics of the Saguenay fjord sill whale feeding ground in the St. Lawrence estuary. SEAFACETS, International Symposium, Bergen, Norway, 16-20 June 2008.
- Sinnott, R.W. (1984). "Virtues of the Haversine". Sky and Telescope **68**: 159 pp.
- Smith, W.O.J. et D.M. Nelson (1986). "Importance of ice edge phytoplankton production in the Southern Ocean". Bioscience **36**: 251-257.
- Stacey, P.J. et G.T. Hvenegaard (2002). "Habitat use and behaviour of Irrawaddy Dolphins (*Orcaella brevirostris*) in the Mekong River of Laos". Aquat. Mamm. **28**: 1-13.
- Stirling, I. (1997). "The importance of polynyas, ice edges, and leads to marine mammals and birds". J. Mar. Syst. **10**: 9-21.
- Swain, D.P., G.A. Chouinard et K.F. Drinkwater (1998). "Seasonal variation in the habitat associations of Atlantic cod (*Gadus morhua*) and American plaice (*Hippoglossoides platessoides*) from the southern Gulf of St. Lawrence". Can. J. Fish. Aquat. Sci. **55**: 2548–2561.
- Therriault, J.-C. et G. Lacroix (1975). "Penetration of the deep layer of the Saguenay Fjord by surface waters of the St. Lawrence Estuary". J. Fish. Res. Board Can. **32**: 2373-2377.
- Turgeon, S. (2012). Modélisation de l'utilisation de l'habitat du béluga du Saint-Laurent en fonction de ses proies à l'embouchure de la rivière Saguenay et à la baie Sainte-Marguerite. Mémoire de M.Sc., Université de Montréal, Québec. XIII + 109 pp. + annexes.
- Turgeon, S., L. Parrott et C.C.A. Martins (2008). Analyse spatio-temporelle de la cooccurrence entre les belugas et le trafic maritime à l'embouchure de la rivière Saguenay de 2003 à 2007, rapport présenté à Parcs Canada. Université de Montréal, Québec: 38 pp.
- Vladykov, V.D. (1944). Chasse, biologie et valeur économique du marsouin blanc ou béluga (*Delphinapterus leucas*) du fleuve et du golfe du Saint-Laurent. Études sur les mammifères aquatiques, III. Contrib. Dép. Pêch., Québec. 194 pp.
- Vladykov, V.D. (1946). Nourriture du marsouin blanc ou béluga (*Delphinapterus leucas*) du fleuve Saint-Laurent. Études sur les mammifères marins aquatiques, IV. Contrib. Dép. Pêch., Québec. 153 pp.
- Watts, P.D. et B.A. Draper (1986). "Note on the behavior of beluga whales feeding on capelin". Arct. Alp. Res. **18**: 439.
- Weilgart, L.S. (2007). "The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management". Can. J. Zool. **85**: 1091-1116.

- Werth, A.J. (2000). "A kinematic study of suction feeding and associated behaviors in the long-finned pilot whale, *Globicephala melas* (Traill)". Mar. Mamm. Sci. **16**: 299-314.
- Whitehead, H. et J.E. Carscadden (1985). "Predicting inshore whale abundance - whales and capelin off the Newfoundland coast". Can. J. Fish. Aquat. Sci. **42**: 976-981.
- Woodley, T.H. et D.E. Gaskin (1996). "Environmental characteristics of North Atlantic right and fin whale habitat in the lower Bay of Fundy, Canada". Can. J. Zool. **74**: 75-84.
- Würsig, B. et M. Würsig (1979). "Behavior and ecology of the bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*, in the South Atlantic". Fish. Bull. **77**: 399-412.
- Zar, J.H. (1999). Biostatistical analysis. 4th edition, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 663 pp.