

Université de Montréal

**Utilisation de l’habitat et pressions anthropiques sur
une population de rorquals à bosse (*Megaptera
novaeangliae*) de Guadeloupe par suivi terrestre**

par

Bruno Proulx

Département de Géographie
Faculté des Arts et des Sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures et postdoctorales
en vue de l’obtention du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)
en géographie

Octobre, 2014

© Bruno Proulx, 2014

Université de Montréal
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :
**Utilisation de l'habitat et pressions anthropiques sur une population de rorquals à bosse
(*Megaptera novaeangliae*) de Guadeloupe par suivi terrestre**

Présenté par :

Bruno Proulx

a été évalué(e) par un jury composé des personnes suivantes :

Oliver Sonnentag
président-rapporteur

Lael Parrott
directrice de recherche

Pierre André
membre du jury

Résumé

Le sanctuaire Agoa est une aire marine protégée dans la zone économique exclusive (ZEE) des Antilles françaises qui fut créée en 2010 pour la conservation des mammifères marins et de leurs habitats. Il est connu que le rorqual à bosse fréquente les eaux des Antilles de décembre à mai pour la reproduction et la mise bas. Par contre, peu d'information existe sur l'abondance, le comportement, la distribution et les pressions anthropiques sur cette espèce aux Antilles et encore moins dans le sanctuaire. Cette maîtrise s'intéresse principalement à connaître cette espèce dans un secteur précis de cette aire marine et les liens qu'elle entretient avec certains utilisateurs humains de son habitat. Le tout vise à informer les intervenants en place, autant institutionnels qu'utilisateurs, vers une mise en place de mesures de conservation adaptées.

Un suivi terrestre hivernal de plus de 300 heures, en 2012 et 2013, a permis de déterminer l'utilisation de l'habitat et les pressions anthropiques sur une population de rorquals à bosse fréquentant le sud de la péninsule de la Pointe-des-Châteaux en Guadeloupe. Il s'agit du premier suivi terrestre de cette espèce aux Antilles françaises et un des premiers dans l'arc caribéen. La zone d'étude couvre environ 264 km² et serait une des zones les plus fréquentées de l'archipel guadeloupéen par l'espèce. À l'aide d'un théodolite, la trajectoire de 107 groupes différents (137,8 heures, 699 remontées) a été décrite.

Les résultats montrent que la zone d'étude est principalement fréquentée en mars et avril, avec une abondance maximale au début du mois d'avril. La forte présence de baleineaux, particulièrement au mois de mars, pousse à croire que cette zone est utilisée comme pouponnière. Le comportement n'est pas aléatoire dans la zone d'étude et les trajectoires convergent vers certaines zones ayant possiblement un lien avec la bathymétrie. De plus, la zone marine à proximité de la Pointe-des-Châteaux pourrait potentiellement être un lieu de convergence des groupes. Ceux-ci se déplacent à vitesse réduite en direction ENE en général, à l'exception des femelles accompagnées de baleineaux qui prennent une orientation tout autre, c'est-à-dire vers le ONO, et ce à plus grande vitesse. Bien que la pression d'observation soit considérée comme modérée, une

forte proportion des remontées se trouve dans les corridors de navigation présents dans la zone d'étude. De plus, le corridor de navigation des navettes entre Saint-François et La Désirade comporte le plus grand risque relatif de collision mortelle.

Une réduction de vitesse des embarcations fréquentant le corridor des navettes diminuerait significativement le risque de collision mortelle. Ces pistes de réflexion mèneront sans doute à d'autres études plus poussées afin de continuer à en apprendre sur l'écologie de cette espèce fascinante.

Mots-clés : Aire marine de conservation aux Antilles françaises (Guadeloupe), rorqual à bosse (*Megaptera novaeangliae*) de l'Atlantique Nord, suivi terrestre au théodolite, utilisation de l'habitat, pressions anthropiques, abondance, pouponnière, distribution, comportement, risque de collision.

Abstract

The Agoa sanctuary, a marine protected area (MPO) covering the exclusive economic zone (EEZ) in the French Caribbean, was created in 2010 to protect marine mammals and their habitats. It is known that the Caribbean islands are used from December to May by humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) as a reproductive area. However, sparse information exists on the abundance, the behaviour, the distribution and the anthropogenic pressures on this species in the Caribbean and even less in the sanctuary. This thesis focuses on increasing scientific knowledge about this species' use of a part of the Agoa Sanctuary and their interactions with human users of the MPO. Such knowledge may inform stakeholders' (institutional and individual) decision-making towards implementation of appropriate conservation measures.

A land-based survey of more than 300 hours, in 2012 and 2013, was carried out to determine the habitat use of, and anthropogenic pressures on, a population of humpback whales frequenting the surrounding water of the *Pointe-des-Châteaux* peninsula in Guadeloupe. This is the first land-based survey of this species in the French West Indies and one of the first in the Caribbean. The study area of approximately 264 square kilometres is one of the most visited areas by this species in the Guadeloupe archipelago. Using a theodolite, 107 trajectories (i.e. groups of whales) were recorded, representing 137.8 hours and 699 surfacings.

Results show that the abundance was higher in March and April with a peak in the first week of April. The high proportion of calves in this population, mainly in March, suggest that the study zone is a nursing area. Overall movement patterns are not random and may possibly be dictated by the bathymetry. Furthermore, trajectories seem to converge close to the *Pointe-des-Châteaux*. The average movement is slow and oriented in the same direction as the dominant current to the west of the *Pointe-des-Châteaux* (i.e. ENE), except for mother and calf groups that swim faster in the opposite direction (i.e. WNW). Even if the anthropogenic pressure may be considered as moderate, a high

proportion of surfacing is located in some of the main maritime traffic corridors. In addition, the shuttle corridor between Saint-Francois and Désirade island has the greatest relative risk of fatal collision.

A reduced speed for the shuttle corridor would lower significantly the collision risk. These findings may lead to more extensive studies to better understand the ecology of this fascinating species.

Keywords : French West Indies marine protected area (Guadeloupe), North Atlantic humpback whale (*Megaptera novaeangliae*), land-based survey with theodolite, habitat use, anthropogenic pressures, abundance, nursing area, distribution, behaviour, collisions.

Table des matières

Table des matières	v
Liste des tableaux et encadrés	vii
Liste des figures	ix
Liste des cartes	xii
Liste des annexes	xiii
Abréviations	xv
Remerciements	xviii
Introduction	1
Chapitre 1 : Cadre théorique	3
1.1 Cadre conceptuel : le système socio-écologique	3
A) Le système écologique	5
B) Le système social (utilisateurs et entités décisionnelles)	6
1.2 État des connaissances	10
A) Biologie et écologie du rorqual à bosse	10
i) Description de l'espèce	10
ii) Menaces	13
B) Rétrospective	16
i) Antilles	16
ii) Sanctuaire Agoa	18
1.3 Problématique	19
1.4 Objectifs et questions de recherche	19
1.5 Région d'étude	21
Chapitre 2 : Méthodologie	24
2.1 Mise en contexte	24
A) Définitions	24
B) Étude comportementale	25
C) Utilisation de l'habitat	27
D) Pressions anthropiques	28
E) Suivi terrestre	31
2.2 Choix du point d'observation	33
2.3 Production d'une carte bathymétrique	34
2.4 Méthodologie du suivi terrestre	35
A) Mise en place de l'étude	35
i) Équipe de travail et formation	35
ii) Mesures géographiques et marées	36
B) Matériel et méthode d'observation	37
i) Météorologie et observateurs	38
ii) Abondance, caractéristiques et distribution des embarcations	39
iii) Trajectoires des embarcations commerciales	39
iv) Trajectoires des baleines et des embarcations en approche	39

Table des matières (suite)

2.5 Variables et traitement des données	42
A) Indice météo	43
B) Bloc d'observation (BO)	44
C) Variables liées aux trajectoires	44
i) Vitesse de déplacement	45
ii) Indices de trajectoire (IT)	45
iii) Classes d'approche	47
D) Risque de collision	48
E) Traitement des données	49
2.6 Calibration, incertitudes et qualité des données	49
A) Hauteur du point d'observation	49
B) Incertitude sur la position	52
C) Incertitude sur la vitesse	53
D) Incertitude sur la détection	54
E) Évaluation et contrôle de la qualité des données	57
Chapitre 3 : Résultats et analyse	58
3.1 Effort d'échantillonnage	58
3.2 Caractérisation de la population et utilisation de l'habitat	62
A) Abondance relative temporelle	62
B) Composition des groupes	67
C) Distribution, habitat et densité	70
D) Analyse des trajectoires	76
i) Indices de trajectoires	76
ii) Convergence et densité des trajectoires	78
iii) Vitesse nette orientée	82
3.3 Caractérisation des pressions anthropiques	85
A) Navigation dans la zone d'étude	85
B) Exposition des baleines à la navigation et au risque de collision	91
C) Pression d'observation	93
Chapitre 4 : Discussion	103
4.1 Caractérisation de la population et utilisation de l'habitat	103
A) Abondance relative temporelle	103
B) Composition des groupes	104
C) Distribution, habitat et densité	105
D) Analyse des trajectoires	107
4.2 Caractérisation des pressions anthropiques	108
4.3 Développements futurs	110
4.4 Portée et limites	112
Conclusion	114
Références	116
Annexes	<i>xix</i>

Liste des tableaux et encadrés

- Tableau 1** Résumé des consignes pour l'approche des grands cétacés selon 11 chartes internationales (dérivé des informations fournies dans Carlson, 2009).
- Tableau 2** Publications sur la population de rorquals à bosse de l'Atlantique Nord, particulièrement aux Antilles, selon différents thèmes.
- Tableau 3** Questions de recherche associées aux objectifs spécifiques.
- Tableau 4** Publications par suivi terrestre pour 2 espèces (rorqual à bosse et épaulard) dans différentes régions du monde.
- Tableau 5** Rayon de la zone d'observation (km) selon l'altitude (m) du point d'observation pour d'autres études similaires.
- Tableau 6** Résumé des mesures prises par Pujos *et al* (1992) sur les courants de marée dans le secteur de Saint-François et de La Désirade.
- Tableau 7** Composition des groupes en 8 catégories (selon Morete *et al*, 2007)
- Tableau 8** Description sommaire des tableaux de données.
- Tableau 9** Corrélation (*tau* de Kendall) entre les 4 indices météo ainsi que l'indice météo combiné (IM).
- Tableau 10** Pourcentage d'incertitude théorique sur la vitesse considérant une incertitude de ± 2 secondes sur la mesure du temps entre deux positions.
- Tableau 11** Effort d'échantillonnage (2012-2013) pour : les vigies, les évaluations de la météo et du nombre d'embarcations dans la zone d'étude et les blocs d'observation d'une heure.
- Tableau 12** Sommaire des 107 groupes sélectionnés en 2012 et 2013 (suivis plus de 30 minutes) pour l'étude des trajectoires.
- Tableau 13** Résumé de l'effectif disponible en 2012 et 2013 des groupes sélectionnés pour l'analyse de l'impact de l'approche des embarcations sur le comportement (c'est-à-dire les indices de trajectoires (IT)) et ce avant, pendant et après l'approche.
- Tableau 14** Sommaire des informations sur les corridors de navigation, sur l'effort d'échantillonnage et sur les variables de pondération pour la densité relative et le risque de collision pour les embarcations commerciales.

- Tableau 15** Résultats des modèles linéaires généralisés (distribution de Poisson), après élimination régressive des variables réponses, réalisés pour le nombre de groupes et d'individus à partir des blocs d'observation.
- Tableau 16** Facteurs d'inflation de la variance (*VIF*) pour toutes les variables explicatives utilisées pour les 4 modèles linéaires généralisés (GLM) des blocs d'observation (BO).
- Tableau 17** Nombre de groupes pour chaque catégorie de composition, selon l'année d'étude, en considérant le 2^{ième} bloc d'observation (BO).
- Tableau 18** Nombre de groupes pour chaque catégorie de composition, selon le mois des observations, en considérant le 2^{ième} bloc d'observation (BO), et pour les groupes sélectionnés.
- Tableau 19** Nombre de groupes, d'adultes et de baleineaux ainsi que la proportion (%) de baleineaux dans la population en 2012 et 2013 pour différentes périodes (en considérant le 2^{ième} BO) ainsi que pour les groupes sélectionnés.
- Tableau 20** Résultats des tests sur la vitesse nette orientée.
-
- Encadré 1** Informations météorologiques.
- Encadré 2** Informations sur les remontées.
- Encadré 3** Règles de décision pour le choix des groupes focaux.
- Encadré 4** Description des situations d'approche 1, 2 et 3, incluant l'identifiant du groupe et la durée totale du suivi.

Liste des figures

- Figure 1** Interactions entre des entités hétérogènes à l'échelle locale.
- Figure 2** Représentation, à une échelle globale, d'un système socio-écologique avec ses boucles de rétroaction et ses propriétés émergentes.
- Figure 3** Le système écologique.
- Figure 4** Le sous-système des utilisateurs dans le système social.
- Figure 5** Le sous-système des entités décisionnelles dans le système social.
- Figure 6** Facteurs influençant les compromis.
- Figure 7** Représentation du sanctuaire Agoa comme un système socio-écologique complexe.
- Figure 8** Représentation schématique des objectifs généraux, des objectifs spécifiques et des questions de recherche.
- Figure 9** Probabilité qu'une collision soit mortelle en fonction de la vitesse en nœuds d'une embarcation. Figure tirée de Vanderlaan et Taggart (2007).
- Figure 10** Schéma illustrant le calcul permettant d'estimer la distance entre le point d'observation et le mammifère marin observé ainsi que la position géographique à partir de l'objet de référence.
- Figure 11** Variables associées aux remontées et aux trajectoires des baleines. Inspirée et adaptée de Williams *et al*, 2002b.
- Figure 12** Différence (en mètre) entre la DPO réelle et la DPO calculée selon 2 méthodes pour différentes hauteurs potentielles pour 10 positions prises au GPS.
- Figure 13** Formes générales d'une fonction de détectabilité (figure tirée de Buckland *et al* (1993)).
- Figure 14** Histogramme du nombre d'évaluations des conditions météo (n=310) en 2012-2013 selon l'indice météo (IM) (a) et la visibilité (b).
- Figure 15** Histogramme du nombre de blocs d'observation (BO) (n=257) en 2012 et 2013 selon le nombre de groupes (a) et d'individus (b).

- Figure 16** Abondance relative moyenne en 2012 et 2013 (par période de 15 jours) du nombre de groupes (a) et d'individus (b) par bloc d'observation (BO) (n=257) selon le jour de l'année.
- Figure 17** Diagrammes en pointes de tarte de la composition des groupes pour 2012 et 2013 (a), pour les groupes sélectionnés (b), pour les deux années séparées (d-e) et pour les mois de mars et avril (f-g).
- Figure 18** Histogrammes du nombre de remontées pour les groupes sélectionnés (a-b), les femelles avec baleineaux (c-d) et les mâles supposés (e-f) selon la profondeur (a-c-e) et la distance de la côte (b-d-f).
- Figure 19** Nombre d'observations en fonction de la distance du point d'observation (DPO).
- Figure 20** Diagrammes en boîtes à moustaches de 6 variables comportementales liées aux trajectoires, soit la vitesse moyenne (a), l'IVV (b), le TVV (c), l'IL (d), l'IR (e) et le TR (f) pour tous les groupes sélectionnés (n=107), les groupes accompagnés de baleineaux (MOCA) (n=27) et pour les groupes de mâles supposés (n=11).
- Figure 21** Représentation schématique des vitesses nettes orientées significatives pour tous les groupes et pour les groupes accompagnés de baleineaux (MOCA).
- Figure 22** Évolution horaire du nombre moyen d'embarcations dans la zone d'étude en 2012 et 2013 avant-midi.
- Figure 23** Évolution horaire du nombre moyen d'embarcations dans la zone d'étude en 2012 et 2013 en après-midi.
- Figure 24** Graphiques en pointes de tarte représentant la proportion des remontées des groupes sélectionnés (a) et des groupes accompagnés de baleineaux (b) selon leurs localisations dans un ou plusieurs corridors de navigation.
- Figure 25** Nombre moyen d'embarcations dans une circonférence de 100, 400 et 1000 mètres des groupes approchés (a) et sommaire des remontées des groupes observés (n=14) ayant été approchés à un moment par une ou plusieurs embarcations (b) en avant-midi.
- Figure 26** Sommaire des remontées des groupes observés en après-midi (n=9) ayant été approchés à un moment par une ou plusieurs embarcations.

- Figure 27** Graphiques en pointes de tarte représentant la proportion des remontées des groupes sélectionnés (a-b) et des groupes accompagnés de baleineaux (c-d) ayant été approchés (a-c) et pour tous les groupes (b-d) selon la présence d'embarcation(s) dans un rayon de 0-100, 100-400 et 400-1000 mètres.
- Figure 28** Graphiques en boîtes à moustaches (a-c-e) et moyenne du comportement (b-d-f) pour les variables comportementales de vitesse (a-b), de variation de vitesse (c-d) et de variation d'orientation (e-f) pour les trois classes d'approche (avant, pendant et après).
- Figure 29** Schéma illustrant la chaîne d'évènements menant de la production sonore d'origine anthropique à des effets sur les populations de mammifères marins. Inspiré, traduit et adapté de Lusseau et Bejder (2007).

Liste des cartes

- Carte 1** Localisation de la Guadeloupe et de la zone d'étude en Amérique et aux Antilles.
- Carte 2** Zone d'étude.
- Carte 3** Bathymétrie de la zone d'étude.
- Carte 4** Positions prises au GPS (Garmin 152H) utilisées pour la calibration de la hauteur du point d'observation.
- Carte 5** Positions des groupes vus une fois (n=143) et des positions centrales des groupes sélectionnés (n=107).
- Carte 6** Positions des remontées des groupes sélectionnés (n=699).
- Carte 7** Densité du nombre de groupes (a) et du nombre de remontées des groupes sélectionnés (b) par cellule de 500 m.
- Carte 8** Exemples de trajectoires pour trois groupes de femelles avec baleineaux (a) et pour trois groupes de mâles supposés (b).
- Carte 9** Distribution de toutes les trajectoires des groupes sélectionnés (n=107).
- Carte 10** Distribution du nombre d'intersections de trajectoires des groupes sélectionnés par cellule de 500 m.
- Carte 11** Distribution de la longueur des trajectoires (supérieure à 1 km) par cellule de 250 m.
- Carte 12** Densité relative de la navigation obtenue par krigeage ordinaire pour les corridors des navettes (a), des croisiéristes à moteur (b), des croisiéristes à voile (c).
- Carte 13** Densité relative de la navigation obtenue par krigeage ordinaire pour toutes les embarcations.
- Carte 14** Représentation schématique des corridors de navigation dans la zone d'étude.
- Carte 15** Risque relatif de collision dans la zone d'étude pour toutes les embarcations commerciales.
- Carte 16** Situations d'approche décrites à l'Encadré 4.

Liste des annexes

- Annexe 1** Représentation du sanctuaire Agoa comme un système socio-écologique complexe.
- Annexe 2** Schéma des règles les plus communes (mode) pour l'approche des grands cétacés selon 11 chartes internationales (Inspiré de Carlson, 2009).
- Annexe 3** Tableau descriptif des comportements en surface du rorqual à bosse en période de reproduction.
- Annexe 4** Éthogramme en surface du rorqual à bosse en période de reproduction.
- Annexe 5** Carte de la zone d'étude.
- Annexe 6** Carte bathymétrique de la zone d'étude
- Annexe 7** Liste du matériel.
- Annexe 8** Fiches de terrain.
- Annexe 9** Informations météorologiques.
- Annexe 10** Informations sur les embarcations.
- Annexe 11** Variables associées aux groupes sélectionnés (n=107).
- Annexe 12** Variables associées aux remontées (n=699) pour décrire les trajectoires des groupes sélectionnés (n=107).
- Annexe 13** Graphiques de la distribution des données avant et après le retrait des valeurs extrêmes.
- Annexe 14** Colinéarité et corrélations entre les variables réponses et explicatives dans les données ayant servies aux modèles linéaires généralisés de l'abondance relative pour différentes périodes.
- Annexe 15** Carte des positions des groupes vus une fois et des positions centrales des groupes sélectionnés.
- Annexe 16** Carte des positions des remontées (n=699) des groupes sélectionnés.
- Annexe 17** Fonction R permettant de calculer la probabilité de la vitesse nette orientée par rapport à une orientation aléatoire.

Annexe 18 Sommaire des remontées des groupes observés plus de 45 minutes en avant-midi et en après-midi et leurs localisations par rapport aux corridors de navigation.

ABRÉVIATIONS :

Aamp :	Agence des aires marines protégées
AET :	Association Évasion Tropicale
AIC :	critère d'information d'Akaike (<i>Akaike information criterion</i>)
CBI :	Commission Baleinière Internationale
DAM :	Direction des affaires maritimes
EEZ :	<i>Exclusive economic zone</i>
GAM :	Modèles additifs généralisés (<i>Generalized Additive Models</i>)
GLM :	Modèles linéaires généralisés (<i>Generalized Linear Models</i>)
GPS :	<i>Global Positioning System</i> , appareil mesurant la position géographique grâce aux satellites
IC :	Intervalle de confiance
IFAW :	<i>International Fund for Animal Welfare</i>
IL :	Indice de linéarité
IT:	Indices de trajectoire
IR :	Indice de réorientation
IUNC :	<i>International Union of Nature conservation</i>
IWC :	<i>International Whaling Commission</i>
MCMC :	Méthode de Monte-Carlo par chaînes de Markov (<i>Markov chain Monte Carlo</i>)
MPO :	<i>Marine protected area</i>
NA :	Non applicable
ND :	Non disponible
NOAA :	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OBNL :	Organisme à but non lucratif
OMMAG :	Observatoire des mammifères marins de l'archipel guadeloupéen
ONG :	Organisation non gouvernementale
PMSSL :	Parc marin du Saguenay-Saint-Laurent
SEPANMAR :	Société pour l'Étude, la Protection et l'Aménagement de la Nature en Martinique

SHOM :	Service hydrographique et océanographique de la marine (France)
SIG :	Système d'information géographique
SQ :	Séquence respiratoire
TR :	Taux de réorientation
UICN :	Union Internationale de Conservation de la Nature
VIF :	Facteur d'inflation de la variance (<i>variance inflating factor</i>)
ZEE :	Zone économique exclusive (200 miles nautiques des côtes)

*À Manuela, pour son amour, sa présence
et son soutien de tous les instants dans
cette aventure.*

*« À mes parents, pour les raisons d'usage,
et d'autres, surtout. »*

Guillaume Vigneault – Chercher le vent –

Remerciements

Je remercie d'abord ma directrice de maîtrise, Lael Parrott, d'avoir accepté et cru en ce projet, pour ses conseils judicieux, sa disponibilité et son appui grandement apprécié. J'aimerais également remercier Manuela Voisine, pour son soutien moral de tous les jours et son aide indispensable sur le terrain.

Merci à l'Association Stenella de m'avoir offert cette opportunité exceptionnelle. L'association Stenella remercie la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL) de Guadeloupe pour son appui financier au projet en 2013. Je tiens à remercier particulièrement Cristiane C.A. Martins pour son aide à la mise en place, pour ses conseils et sa disponibilité à l'élaboration des protocoles de 2011 et de 2012-13. Je me dois de remercier Louis Caudrelier du Cabinet Simon et Associés, qui a gracieusement fourni son expertise et le matériel nécessaire. Un merci chaleureux à tous les bénévoles qui ont appuyé l'équipe pendant les vigies. Je me dois de remercier particulièrement Loïc Renia pour son dévouement et son assiduité. Sans lui, la saison 2012 aurait été plus difficile. Merci à Marion Diard (Association TITÉ), Sophie Bedel (Kap-Natirel) et à l'Université Antilles-Guyane pour avoir diffusés nos besoins en bénévoles sur leurs réseaux respectifs.

Finalement, je remercie évidemment mes parents pour leur amour et leur soutien inconditionnel dans cette aventure.

INTRODUCTION

Le rorqual à bosse, espèce cosmopolite, fréquente les eaux guadeloupéennes durant sa période de reproduction hivernale. La population de l'Atlantique Nord de cette espèce, se reproduisant majoritairement aux Antilles, a été estimée en 1993 à 10 752 individus (Stevick *et al*, 2003b) et est en rétablissement depuis l'arrêt de la chasse en 1966 (Fleming et Jackson, 2011). Celle-ci n'étant plus une menace, d'autres facteurs, principalement d'origine anthropique, rendent l'espèce vulnérable, comme par exemple les collisions avec les navires, les prises accidentelles dans les engins de pêches, la pollution sonore et les activités d'observations des cétacés dans leur milieu naturel (*whale watching*). Bien que plusieurs études se soient attardées à décrire la population de l'Atlantique Nord (par exemple : Stevick *et al*, 2003a; Stevick *et al*, 2003b; Smith *et al*, 1999; Smith *et al*, 2002), peu de publications sont disponibles sur la distribution et l'abondance de cette espèce dans les petites Antilles (Ward *et al*, 2001), encore moins dans la zone d'étude en Guadeloupe. Malgré l'arrêt de la chasse, les risques de collision ainsi que le *whale watching* restent des menaces potentielles au rétablissement de l'espèce et dans le cadre du sanctuaire Agoa, aire marine protégée aux Antilles françaises, des connaissances sont requises pour faciliter la mise en place d'une législation quant à l'approche des cétacés en bateau et pour déterminer les zones à risques pour les collisions. Dans le cadre d'un stage pour l'Association Stenella, l'auteur a entrepris une étude préliminaire en 2011 pour ensuite récolter les données de 2012 et 2013 qui seront présentées dans ce mémoire.

L'objectif de cette maîtrise est de décrire l'utilisation de l'habitat par l'espèce dans un secteur fréquenté par celle-ci et d'évaluer les pressions anthropiques s'exerçant sur cette population. L'abondance relative temporelle, la composition des groupes, la distribution générale et le comportement de cette population ainsi que les zones à risque pour les collisions et la pression occasionnée par le *whale watching* seront déterminés. À la suite de cette maîtrise, le rorqual à bosse sera mieux connu dans son aire de reproduction de l'Atlantique Nord et la zone d'étude pourra être mieux protégée en acheminant ces connaissances aux utilisateurs du milieu ainsi qu'aux gestionnaires du sanctuaire Agoa.

Le mémoire présentera d'abord une description du cadre théorique, de l'espèce et des menaces qui pèsent sur ses populations. Ensuite, une rétrospective des connaissances sur la baleine à bosse aux Antilles introduira la problématique. Les objectifs généraux et spécifiques seront présentés avant d'aborder la mise en contexte théorique. Les méthodes d'étude comportementale et l'état des connaissances sur l'utilisation de l'habitat et l'impact anthropique seront exposées. Les bases théoriques à la méthodologie seront ensuite détaillées. Le sujet et la région d'étude seront décrits suivi des étapes méthodologiques à la récolte de données. La présentation des résultats et l'analyse des données seront exposées en présentant d'abord l'effort d'échantillonnage, puis la caractérisation de la population et l'utilisation de l'habitat et se termineront avec la caractérisation des pressions anthropiques. Le mémoire se conclura par une discussion des résultats et quelques recommandations.

CHAPITRE 1 : CADRE THÉORIQUE

1.1 Cadre conceptuel : le système socio-écologique

L'aire marine protégée nouvellement créée dans les Antilles françaises, le sanctuaire Agoa, vouée exclusivement à la protection des mammifères marins et de leurs habitats, souhaite :

« une implication forte des autorités politiques locales, des socioprofessionnelles et de l'état dans la gouvernance du sanctuaire [...] composé des acteurs locaux [...], politiques, associatifs, économiques, scientifiques, administratifs » (Anonyme, 2012)

Ce type de gestion pourrait être qualifié de système de gouvernance. Bodin et Crona (2009) définissent la **gouvernance** comme l'administration des ressources naturelles incorporant les structures et les processus fournissant l'environnement social et institutionnel permettant la gestion. Le terme **cogestion** sera également utilisé pour désigner la gouvernance. Les individus, groupes et institutions influençant le processus de décision dans un tel système sont nommés en anglais *stakeholders* (Brugha & Varvasovszky, 2000), que l'on peut traduire par parties prenantes, groupes d'intérêts ou intervenants. Le terme **intervenants** sera privilégié dans ce texte et seront considérés comme tels tous les individus, groupes d'individus et institutions (par exemple : les instances étatiques, les groupes de recherche, les instances commerciales, les associations) en lien, de près ou de loin, avec la gestion de la ressource. La cogestion dans le domaine des aires de conservation (marines et terrestres) et dans la gestion des ressources naturelles se répand de plus en plus sur la planète et les exemples ne manquent pas, comme le Parc Marin du Saguenay-Saint-Laurent (PMSSL) au Canada.

Une vision nouvelle se développe depuis quelques années pour concevoir les systèmes dans lesquels nous vivons comme complexes. L'analyse pourrait être poussée encore plus loin en liant le système de gouvernance au système écologique impliqué, ce que l'on nommera alors un **système socio-écologique**. Il s'agit d'un système où il y a interaction entre les humains et la nature (Gonzalès & Parrott, 2012), aussi nommé système couplé nature-humain (*CHANS*) (Liu *et al*, 2007). Le défi d'étudier de tels systèmes est que leur

dynamique est non-linéaire et donc difficile à prédire et ils possèdent toutes les propriétés des systèmes complexes telles que l'émergence, l'auto-organisation et l'absence de contrôle centralisé (Gonzalès & Parrott, 2009; Parrott, 2002; Mitchell, 2009). Parrott *et al* (2012) présentent 3 exemples de systèmes socio-écologiques, dont un pour une aire marine de conservation vouée à la protection des mammifères marins. Parrott et Meyer (2012) décrivent 5 étapes permettant de concevoir la gestion des paysages, par exemple le sanctuaire Agoa, comme un système complexe. Ces étapes sont résumées ici :

- i) Concevoir un modèle conceptuel du système comme système complexe.
- ii) Comprendre et documenter les processus émergents des différentes échelles.
- iii) Construire et maintenir les capacités d'adaptation du système pour tamponner les changements.
- iv) Tirer avantage de la « mémoire » interne du système et imiter les processus naturels.
- v) Travailler avec un éventail d'avenirs possibles.

Dans un premier temps, intéressons-nous à la première étape, soit produire une représentation schématique du système socio-écologique du sanctuaire Agoa (Figure 7) inspirée de Parrott et Meyer (2012) et également de Ostrom (2009).

En considérant l'échelle locale (Figure 1), nous retrouvons un amalgame d'entités hétérogènes (par exemple les pêcheurs, les chercheurs, la marine marchande, les touristes, les mammifères marins, les oiseaux, les récifs coralliens, le vent) dont les relations sont également hétérogènes. À cette échelle, il est difficile de comprendre le système socio-écologique. À une échelle plus globale (Figure 2), le système écologique est lié au système social et ils s'influencent mutuellement par des boucles de rétroaction. Par exemple, les politiques de conservation ont pour but de diminuer les pressions sur l'écosystème. Ces politiques de conservation, en contrepartie, seront influencées par l'état même de l'écosystème. Les boucles de rétroaction sont

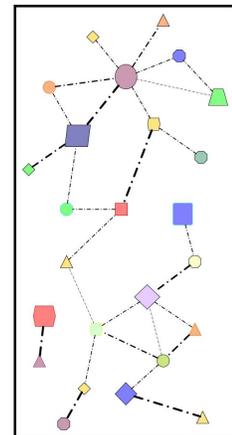


Figure 1 :
Interactions entre des entités hétérogènes à l'échelle locale.

également présentes dans chacun des systèmes, et seront directement en relation avec les propriétés émergentes de chacun. Par exemple, la résilience des chaînes alimentaires des écosystèmes marins (voir Dunne *et al*, 2004) est une propriété émergente des écosystèmes. Un exemple de ce qui pourrait émerger du système social serait la structure des relations entre les intervenants dans la gouvernance d'une ressource naturelle.

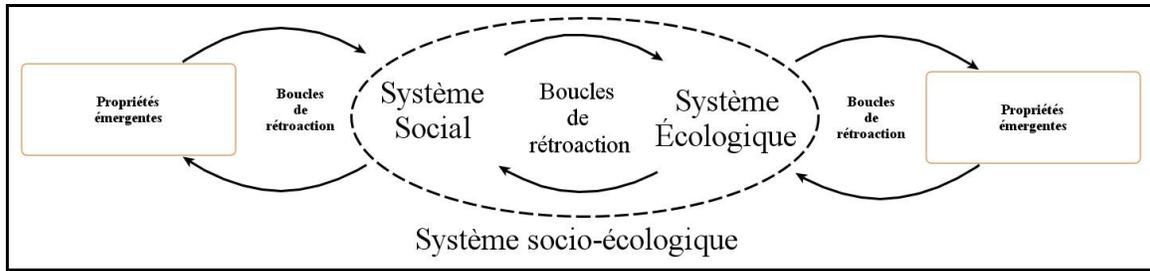


Figure 2 : Représentation, à une échelle globale, d'un système socio-écologique avec ses boucles de rétroaction et ses propriétés émergentes.

Attardons-nous maintenant à ce qui se trouve entre l'échelle locale et l'échelle globale. Il faut garder en tête que cette représentation en est une parmi d'autres et que les sous-sections sont loin d'être des catégories rigides et mutuellement exclusives. Cette représentation se veut une manière simplifiée d'exprimer le caractère complexe de ce système.

A) Le système écologique

L'objet principal du sanctuaire Agoa est la protection des mammifères marins de la zone économique exclusive (ZEE) des Antilles françaises. Ces animaux ne peuvent être considérés seuls sans les mettre dans un contexte écosystémique que l'on divisera en trois sous-sections (Figure 3). D'abord le **climat**, malgré l'implication de l'humain dans les changements climatiques, cet élément est relativement indépendant du système écologique du sanctuaire et est probablement l'objet incorporant le plus d'incertitude dans ce système. Nous retrouvons également l'**habitat**, c'est-à-dire l'environnement physique où évoluent les ressources. Le terme **ressource** sera utilisé, par souci d'uniformité avec la terminologie utilisée dans les publications sur le sujet (par exemple Ostrom (2009)), pour désigner tout ce qui est utilisé ou exploité par l'humain, au sens propre ou figuré. Par exemple, toutes les ressources alimentaires marines en font partie

(poissons, lambis, crustacés, etc.). Les mammifères marins seront inclus dans cette section, entre autres parce qu'ils peuvent faire l'objet d'«exploitation» par ceux pratiquant le *whale watching*. Ostrom (2009) nommerait ceux-ci l'unité de ressource (*resource unit*). Tous ces éléments sont évidemment en interaction.

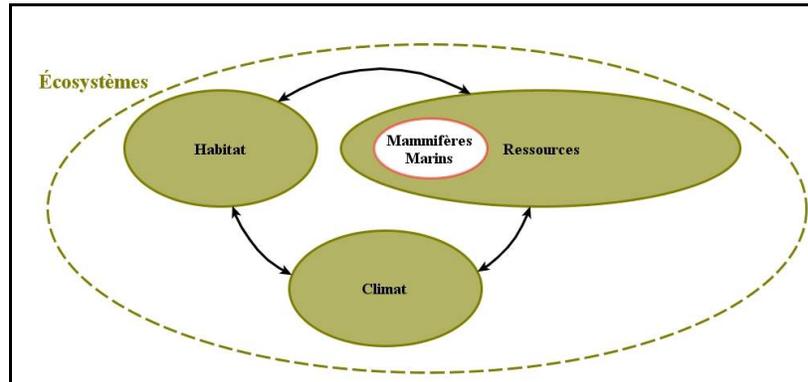


Figure 3 : Le système écologique.

B) Le système social (utilisateurs et entités décisionnelles)

Le système social peut être perçu et divisé de multiples manières. Les **utilisateurs** sont les acteurs directement en lien avec l'écosystème. Ils l'affectent de différentes manières selon leurs activités. Trois catégories (Figure 4) ont été sélectionnées. Il y a premièrement la **marine marchande**, c'est-à-dire toutes les embarcations commerciales, par exemple les porte-conteneurs et les navettes entre les îles, qui utilisent l'habitat sans se soucier des ressources. Ils auront un impact sur celui-ci en produisant de la pollution soit chimique (par exemple les hydrocarbures) ou physique (par exemple la nuisance sonore), tout comme les deux autres catégories. Deuxièmement, il y a les **activités de whale watching (WW)**. Ces activités peuvent être commerciales, opportunistes, commerciales-opportunistes et scientifiques et affecteront directement les mammifères marins par l'observation directe (voir la section 2.1 pour plus de détails). Finalement nous retrouvons l'**industrie de la pêche**, qui entrera en compétition avec les mammifères marins au niveau de leurs ressources alimentaires, et qui aura aussi un impact direct, surtout par les prises accidentelles dans les filets. Le système social inclut également d'**autres utilisateurs** tels que les plaisanciers en voilier ou en embarcation à moteur, les

kayakistes, les planchistes et les baigneurs. Ceux-ci ne sont pas représentés à la Figure 4 par souci de concision bien qu'ils en fassent partie.

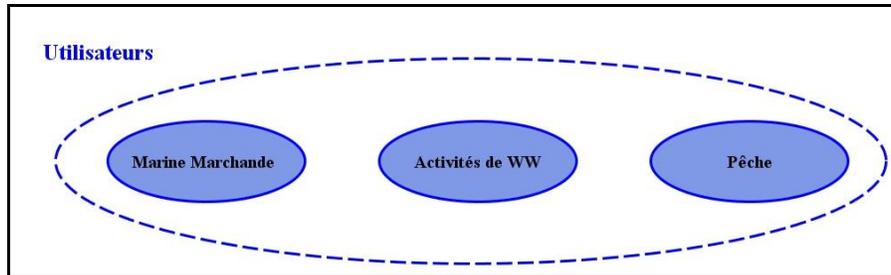


Figure 4 : Le sous-système des utilisateurs dans le système social.

La cogestion du sanctuaire Agoa implique que des **entités décisionnelles** (Figure 5) soient en relation avec les utilisateurs. Ces entités comprennent le système de gouvernance du **sanctuaire Agoa**, les **instances de recherche**, qui peuvent être autant associatives (ONG) qu'étatiques (ex : université) et les **instances législatives** (par exemple le parc national (PN), la direction des affaires maritimes (DAM) et l'agence des aires marines protégées (Aamp)) qui vont énoncer et appliquer les lois directement ou indirectement en lien avec la protection des mammifères marins.

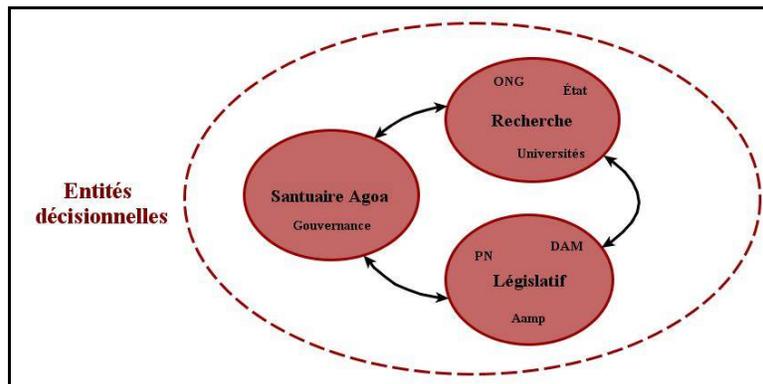


Figure 5 : Le sous-système des entités décisionnelles dans le système social.

Les relations entre les utilisateurs et les entités décisionnelles se feront sur la base de compromis (Figure 6). Ces compromis seront influencés par de multiples facteurs rendant le système social complexe. Dans la cogestion et la résolution de conflits qui interviendront entre les différents partis, la notion de compromis aura son importance capitale. D'un côté, les entités décisionnelles tentent « d'imposer » la conservation des

cétacés, principalement aux utilisateurs, qui, en retour, tentent de continuer leurs activités avec le moins de contrainte possible. Autant pour les uns que pour les autres, la prise de décisions et l'acceptabilité sociale seront influencées par plusieurs facteurs dont en voici quatre : les connaissances, les pratiques culturelles, l'inertie sociale et l'économie.

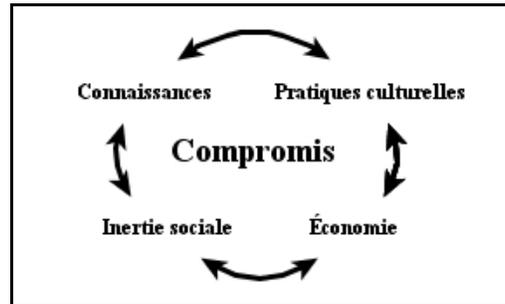


Figure 6 : Facteurs influençant les compromis.

Pour ce qui est des **connaissances**, autant le niveau de connaissance des utilisateurs sur la ressource les amènera à poser des gestes qui vont ou non vers une conservation de celle-ci, autant le niveau des connaissances sur la ressource influencera évidemment les décideurs sur les positions et les mesures à prendre dans la gestion du sanctuaire. Les **pratiques culturelles** concernent autant le politique que les pratiques traditionnelles. Ces pratiques vont influencer la manière de mettre en place des mesures de conservation, la manière dont elles seront perçues et comment les utilisateurs s'y conformeront. Par exemple, en Guadeloupe, la pêche est une pratique traditionnelle et près de la moitié des pêcheurs ne sont pas enregistrés officiellement, le tout combiné à peu de contrôle de la part des autorités (Anonyme, 2008), la mise en place de quotas et de zonage auront peu d'influence sur la ressource. D'un autre côté, certaines directives seront par exemple adressées aux décideurs par des fonctionnaires et des politiciens peu au fait des dossiers. L'**économie** jouera un rôle important, par exemple dans le financement de ceux qui doivent prendre des décisions. Un sous financement à ce niveau ne permettra pas d'acquérir les connaissances nécessaires à la prise de décision, retardera la mise en place de réglementation et ne permettra pas d'en assurer le respect sur le terrain. Du côté des utilisateurs, une situation économique facile rendra l'imposition de règles plus aisée que dans un climat tendu où toute perte de revenus, même minimes, aura un impact sur ceux-ci. Pour terminer, l'**inertie sociale** pourrait être perçue comme positive et négative à la

fois. La volonté de changement que nous observons de plus en plus pour la conservation de la nature est une forme d'inertie facilitant la mise en place de système de gouvernance et de règles orientées vers une protection accrue de la nature. L'inertie sociale pourra aussi être vue comme une résistance au changement, autant pour ceux qui utilisent la ressource et ne souhaitent pas modifier leurs pratiques, que pour ceux qui doivent décider. Effectivement, ceux-ci peuvent par exemple adopter une manière de faire qui n'est pas nécessairement optimale et ils seront réfractaires à la changer. Il est donc important de réfléchir à tout cela pour mettre en contexte et en perspective les compromis qui devront être faits d'un côté comme de l'autre pour éviter le plus possible les conflits et trouver la manière d'amener les changements de la bonne façon.

En définitive, il est possible de représenter ce système socio-écologique comme un tout (Figure 7 et Annexe 1), correspondant à la première étape proposée par Parrott et Meyer (2012).

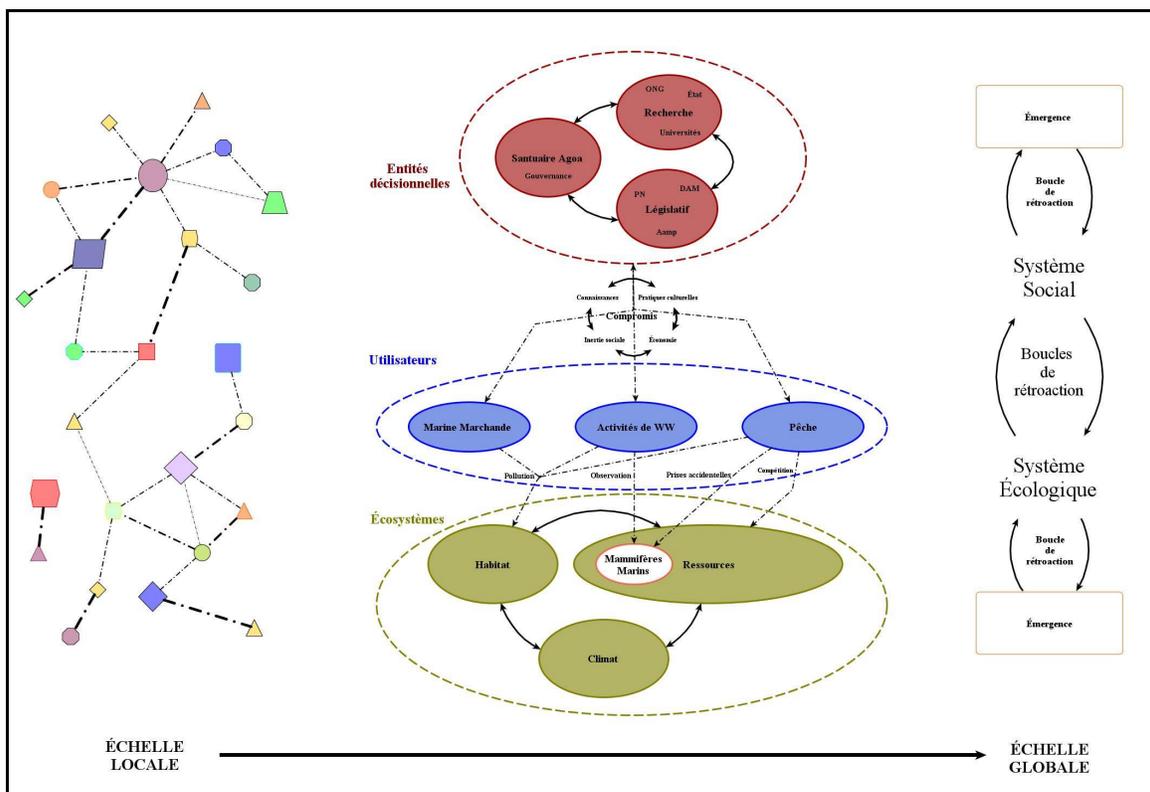


Figure 7 : Représentation du sanctuaire Agoa comme un système socio-écologique complexe (également disponible à l'Annexe 1).

L'objet de ce mémoire se positionne à différents niveaux dans ce système socio-écologique. Il représente le début de la deuxième étape de Parrott et Meyer (2012), c'est à dire documenter les processus. Il vise d'abord à acquérir une connaissance brute de la ressource et de son lien avec l'habitat. Il cherche également à décrire les pressions exercées par les utilisateurs sur la ressource, principalement par les activités de *whale watching* et les risques de collision. Ostrom (2009) recommande que certaines variables (par exemple l'abondance, la distribution spatiale et temporelle ainsi que la mobilité de la ressource) ainsi que certaines conditions (par exemple une meilleure connaissance de la ressource par les utilisateurs) soient accomplies pour une gouvernance plus durable de la ressource. C'est dans cette optique que les connaissances acquises par cette étude seront acheminées aux instances décisionnelles et à certains utilisateurs accompagnées de recommandations considérant les compromis discutés plus haut, le tout dans un but de protection et de conservation accrues de cette ressource.

1.2 État des connaissances

Avant d'aborder la problématique, il convient de décrire brièvement l'espèce étudiée et de mettre en contexte les menaces qui pèsent sur celle-ci. Un portrait de l'état des connaissances sur les cétacés aux Antilles est dressé, en mettant l'accent sur les connaissances acquises sur le rorqual à bosse, pour ensuite décrire le sanctuaire Agoa ainsi que l'état de la recherche au sein de cette aire marine protégée.

A) Biologie et écologie du rorqual à bosse

i) Description de l'espèce

Le rorqual à bosse (*Megaptera novaeangliae*), aussi nommé baleine à bosse, jubarte et mégaptère, est un mammifère marin de l'ordre des cétacés appartenant au sous-ordre des mysticètes, communément appelé cétacés à fanons. Cette espèce fait partie de la famille des *Balaenopteridae* comprenant des espèces telles que le petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*), le rorqual commun (*Balaenoptera physalus*), le rorqual bleu (*Balaenoptera musculus*) et le rorqual tropical (*Balaenoptera edeni*). Le rorqual à bosse est par contre le seul représentant de son genre (*Megaptera*). La taille des animaux varie

entre 14 et 15 m et les femelles seraient plus grandes que les mâles (Clapham et Mead, 1999). Le baleineau fait entre 3,97 et 4,57 mètres à la naissance et mesure entre 8 et 10 mètres à la fin de sa première année, moment où il atteint habituellement son indépendance (Clapham, 2009). Le corps est beaucoup plus trapu que chez les autres représentants de cette famille et pèserait au plus 40 tonnes (Reeves *et al*, 2002). Les mâles comme les femelles atteignent la maturité sexuelle vers l'âge de 5 ans (Clapham et Mead, 1999) et ils vivraient au moins 50 ans (Reeves *et al*, 2002). Le corps est généralement foncé dorsalement, avec des patrons de coloration variable sur la face ventrale, soit blanc, noir ou tacheté de ces deux couleurs (Clapham, 2009). Le rostre est couvert de proéminences (c'est-à-dire des tubercules) caractéristique de l'espèce (Clapham, 2009), portant chacune une vibrisse sensitive. La nageoire dorsale peut présenter une variété de formes allant de quasi absente à très falciforme (Clapham, 2009), mais elle est généralement trapue et positionnée sur une proéminence (une « bosse ») donnant le nom à l'espèce (Reeves *et al*, 2002). La nageoire caudale des rorquals à bosse, qui sort régulièrement au moment de sonder, présente des patrons de coloration variables en blanc et noir sur la face ventrale, servant à identifier distinctement les individus (Clapham, 2009; Clapham et Mead, 1999). La dominance de coloration varie significativement à l'échelle de la planète (Rosenbaum *et al*, 1995). Les nageoires pectorales sont très longues, soit près du tiers du corps de l'animal, et leur forme hydrodynamique est unique (Berta *et al*, 2006). Elles sont généralement blanches sur la face ventrale, noires sur la face dorsale dans le Pacifique Nord, et blanches sur les deux faces dans l'Atlantique Nord (Clapham, 2009).

Il s'agirait du mammifère effectuant la plus grande migration (Palsbøll *et al*, 1997) entre leurs lieux d'alimentation vers les pôles et les sites de reproduction vers les tropiques. Cette migration saisonnière, soit en zone d'alimentation l'été et en zone de reproduction l'hiver, ne serait pas accomplie par tous les individus et les raisons exactes restent un mystère même à ce jour (Clapham, 2009). L'affiliation entre individus, autant sur les sites de reproduction que sur les sites d'alimentation, serait temporaire et instable (Clapham, 1996) à l'exception des femelles accompagnées de leurs baleineaux (Valsecchi *et al*, 2002). La baleine à bosse ne serait pas territoriale (Tyack, 1981). Les mâles sont connus

pour chanter en se positionnant tête en bas (Au *et al*, 2006), principalement sur les sites de reproduction, mais il existe certaines mentions de chant sur les sites d'alimentation (Vu *et al*, 2012). Le chant, le plus diversifié du monde animal, jouerait un rôle de sélection au moment de la reproduction, soit par compétition intra ou inter sexuelle (Parson *et al*, 2008), ou servirait à organiser la coopération entre les mâles (Darling *et al*, 2006). Cette espèce est aussi connue pour ses comportements aériens, comme les sauts et les frappes à la surface de l'eau avec la nageoire caudale ou les nageoires pectorales (Reeves *et al*, 2002), comportements accomplis autant par les mâles que par les femelles et les baleineaux (observations personnelles). La baleine à bosse fréquente les eaux chaudes peu profondes (<20m) pendant la période de reproduction, particulièrement les femelles accompagnées de baleineaux (Betancourt *et al*, 2012; Ersts et Rosenbaum, 2003). Elle s'alimente de crustacés de l'ordre des Euphausiacés, communément nommés krills, et de plusieurs espèces de poissons vivant en banc dont le capelan, le lançon, le maquereau, la sardine et l'anchois (Reeves *et al*, 2002; Clapham et Mead, 1999). Elle s'alimente en engouffrant une grande quantité d'eau et de proies, facilité par l'extension des sillons ventraux, qu'elle filtre ensuite grâce aux fanons (Reeves *et al*, 2002; Berta *et al*, 2006). Elle pratique aussi la tactique du filet de bulle pour encercler et concentrer les proies (Reeves *et al*, 2002; Berta *et al*, 2006). Elle ne s'alimenterait pas sur les sites de reproduction (Dawbin, 1966), bien que certaines indications récentes permettent de croire que de l'alimentation occasionnelle se produise (Pinto de Sà Alves *et al*, 2009; Danilewicz *et al*, 2008; Gandilhon, 2012).

La chasse a grandement décimé les populations de rorquals à bosse. Cette espèce a été considérée comme « *en danger* » de 1986 à 1990 et « *vulnérable* » de 1990 à 2008 où son statut à l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) a été révisé comme « *de moindre préoccupation* » (Reilly *et al*, 2008). Cette espèce est classée à l'Annexe I de la Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (2012), la considérant comme « *en danger d'extinction sur la totalité ou sur une portion significative de son aire de distribution* ».

L'espèce présente une distribution mondiale (Clapham, 2009), divisée en plusieurs sous-populations, que l'on nomme parfois « *stocks* », artéfact de la gestion de la chasse. Toutes les populations sont migratrices à l'exception de celle résidente de la mer Arabique (Clapham, 2009). Des indications récentes laissent entrevoir que la population de l'Atlantique Nord pourrait être considérée comme une sous-population de l'espèce (Jackson *et al*, 2014). Celle-ci a été estimée à 11 570 individus en 1993 (Stevick *et al*, 2003b). Les populations fréquentant les différentes zones d'alimentation (soit le Golfe du Maine, le Golfe du Saint-Laurent, le Groenland et l'Islande) seraient distinctes (Vigness-Raposa *et al*, 2010; Palsbøll *et al*, 1997). La population de l'Atlantique Nord se reproduirait presque entièrement dans les Antilles, où les effectifs ont été évalués à 10 752 individus en 1993, avec un taux de croissance annuel de 3,1% (Stevick *et al*, 2003b). Cette population pourrait pratiquement avoir doublé depuis cette dernière estimation. Une petite population d'au moins 88 individus fréquente également les eaux entourant le Cap Vert et proviendrait de l'Atlantique Nord-Est (Wenzel *et al*, 2009; Punt *et al*, 2006, Reilly *et al*, 2008). Il est possible qu'une zone de reproduction n'ait pas encore été découverte à ce jour (Fleming et Jackson, 2011; Reilly *et al*, 2008).

ii) Menaces

Plusieurs menaces pèsent sur les différentes espèces de cétacés du monde. Certaines populations sont en situation plus précaires que d'autres, et les informations sur plusieurs espèces sont encore insuffisantes pour en évaluer leurs statuts de conservation.

Premièrement, la chasse commerciale du 20^{ième} siècle a grandement décimé les populations de baleines à bosse, bien qu'un moratoire sur l'espèce dans l'Atlantique Nord fut prononcé en 1966 (Fleming et Jackson, 2011). La chasse dite traditionnelle est toujours permise et dans l'Atlantique Nord, seuls les résidents des îles antillaises de Saint-Vincent et Grenadines sont autorisés à la pratiquer (Robbins *et al*, 2006) et cela ne représenterait que quelques individus par an (IWC, 2002). La chasse scientifique est pratiquée par le Japon, principalement dans l'océan Antarctique, tandis que la chasse hors moratoire est pratiquée par l'Islande et la Norvège, mais ne viserait pas *a priori* les rorquals à bosse (Fleming et Jackson, 2011).

Deuxièmement, les collisions sont également une menace et surviennent généralement entre des embarcations de plus de 80 m navigant à une vitesse d'au moins 14 nœuds (Jensen et Silber, 2003; Laist *et al*, 2001), bien que des collisions avec des voiliers, principalement des monocoques, soient également rapportées (Ritter, 2009). Les rorquals à bosse seraient les deuxièmes en importance, après les rorquals communs, à être victimes de collision et les individus immatures seraient les plus vulnérables (Fleming et Jackson, 2011). Des rumeurs d'incidents ont été rapportés pour la Guadeloupe en 2012 entre une navette rapide et un bateau de pêche (Stéphane L., marin pêcheur, commentaire personnel), mais aucune donnée formelle n'existe sur le sujet dans les Antilles françaises (Anonyme, 2012).

Troisièmement, les prises accidentelles dans les filets seraient une menace significative sur la côte Atlantique états-uniennes (Young et Iudicelle, 2007). Une mention de baleine prise dans des engins de pêche est survenue en Guadeloupe en 2012 (France-Antilles Guadeloupe, 2012).

Quatrièmement, la pollution sonore marine ne doit pas être négligée considérant que les mammifères marins survivent grâce à l'émission de sons pour l'écholocation et la communication entre les individus (Weilgart, 2007a). Les principales sources de pollution sonore sont les explosions sous-marines, le transport de marchandise, l'exploration sismique et les sonars militaires (Weilgart, 2007b). Bien que la réaction aux perturbations sonores varie d'une espèce à l'autre, les principales conséquences seraient le changement dans les vocalisations, la modification du cycle respiratoire, le changement dans la vitesse de déplacement, la modification du temps de plongée, la modification des routes migratoires, l'augmentation du stress, les dommages auditifs et finalement les échouages (Weilgart, 2007a).

Cinquièmement, on peut considérer le *whale watching*, c'est-à-dire toutes les activités d'observation des cétacés dans leur milieu naturel, comme une menace potentielle. Cette pratique est en grande augmentation depuis le début des années 1990 et impliquait en

1998 plus de 9 millions de participants dans 87 pays, générant des revenus directs de près de 300 milliards de dollars US (Hoyt, 2001). Celle-ci est en grande augmentation au niveau mondial avec plus de 10% de croissance par année dans certaines régions (Fleming et Jackson, 2011). Pour la région caribéenne, en 1998, on dénombrait plus de 39 000 utilisateurs de ce service générant des revenus de près de 10 millions de dollars US avec une augmentation annuelle moyenne de 20% les 4 années précédant l'étude (Hoyt, 1999). En Guadeloupe, la même année, 3 opérateurs ont permis à 400 personnes de pratiquer le *whale watching* générant des revenus directs de 13 000 \$US (O'Connor *et al*, 2009). En 2012, on comptait toujours 3 opérateurs officiels, 5 autres envisageant de débiter la pratique, le tout touchant près de 4000 visiteurs annuellement pour des apports économiques de 180 000€ (Anonyme, 2012). Le *whale watching* sur les rorquals à bosse dans cette île était plutôt opportuniste jusqu'à maintenant, mais une exploitation commerciale pourrait émerger sous peu.

Tableau 1 : Résumé des consignes pour l'approche des grands cétacés selon 11 chartes internationales, la règle la plus commune (mode), la variabilité entre les chartes (l'étendue) et le nombre de chartes impliquées (dérivé des informations fournies dans Carlson, 2009).

Description de la consigne	Règle (mode)	Variabilité (l'étendue)	Nombre de chartes
Zone d'observation	500 mètres	400-500 mètres	4
Zone d'approche	300 mètres	200-500 mètres	11
Zone d'exclusion	100 mètres	50-300 mètres	11
Zone d'exclusion sur la trajectoire	avant et/ou arrière, 60°	NA	6
Vitesse d'approche	6 nœuds	2-10 nœuds	10
Nombre de bateaux	3	1-4	9
Temps d'observation	30 minutes	20-60 minutes	9
Zone d'exclusion accrue pour les espèces menacés et les baleineaux	NA	NA	8

Cette activité, vue comme une alternative à la chasse, est considérée par plusieurs comme plus durable, bien que les deux pratiques ne soient pas nécessairement incompatibles à l'heure actuelle (Cunningham *et al*, 2012). Cette réalité ne semble pas problématique pour les Antilles (Hoyt et Hvenegaard, 2002). Plusieurs nations se sont dotées de chartes d'approche des cétacés, soit sous forme de codes de bonnes conduites, soit sous forme de

législation (Carlson, 2009). Bien que les normes d'approche diffèrent grandement d'un endroit à l'autre, les consignes générales pour l'approche des grands cétacés sont communes à plusieurs nations (voir le Tableau 1). Un schéma présenté à l'Annexe 2 en illustre l'essentiel.

Finalement, parmi les autres menaces potentielles, mentionnons la pollution chimique, la prédation et les changements climatiques. Les rorquals à bosse seront particulièrement sensibles à l'exposition aux hydrocarbures halogénés et aux pesticides qu'ils accumuleront par bioaccumulation dans leur graisse (Fleming et Jackson, 2011). Aux Antilles françaises, l'insecticide chlordécone se retrouve dans l'environnement marin et serait susceptible de contaminer les rorquals à bosse s'ils s'alimentaient dans cette zone (Anonyme, 2012), ce qui ne serait pas le cas *a priori*. Les prédateurs naturels des rorquals à bosse seraient principalement les épaulards (Jefferson *et al*, 1991) et les requins, bien que peu d'attaques soient documentées (Fleming et Jackson, 2011). En Guadeloupe, 2 mentions d'attaques de pseudorques (*Pseudorca crassidens*) sur des baleines à bosse ont été rapportées (Rinaldi *et al*, 2006). L'impact des changements climatiques sur les populations de baleines à bosse se ferait sentir surtout au niveau de l'abondance et la distribution des proies, qui pourraient être influencées par l'acidification des océans (Fleming et Jackson, 2011). Evans *et al* (2010) et Simmonds et Isaac (2007) fournissent une revue de littérature complète sur le sujet.

B) Rétrospective

i) Antilles

Le Tableau 2 retrace la littérature publiée sur les cétacés dans la région caribéenne en mettant l'accent sur les publications concernant les baleines à bosse. Ces informations fournissent principalement des indications sur l'abondance et la distribution de l'espèce dans les Antilles en général et partiellement sur l'utilisation de l'habitat. La majorité des études se sont concentrées sur la zone des Grandes Antilles au nord, particulièrement au large de la République Dominicaine (Fleming et Jackson, 2011). La population fréquentant la zone de reproduction des Antilles proviendrait majoritairement des zones d'alimentation à l'ouest de l'Atlantique Nord (du Groenland au golfe du Maine), bien que

des baleines à bosse provenant des zones d'alimentation de l'est y soient observées (Fleming et Jackson, 2011). En 1992 et 1993, une grande campagne de photo-identification et de biospies à travers l'Atlantique Nord (Year of North Atlantic Humpback (YoNAH)) a permis d'estimer précisément l'abondance de cette population (Smith *et al*, 1999). Aucune donnée sur la population de l'espèce fréquentant les eaux guadeloupéennes n'est disponible pour les déplacements à fine échelle spatiale, pour l'abondance temporelle saisonnière et pour les pressions anthropiques, c'est-à-dire le sujet principal de la présente maîtrise.

Tableau 2 : Publications sur la population de rorquals à bosse de l'Atlantique Nord, particulièrement aux Antilles, selon différents thèmes.

Thèmes	Publications
Abondance de l'espèce dans l'Atlantique Nord (aires de reproduction et d'alimentation)	Fleming et Jackson, 2011; Punt <i>et al</i> , 2006; Stevick <i>et al</i> , 2003a; Stevick <i>et al</i> , 2003b; Smith <i>et al</i> , 2002; Smith <i>et al</i> , 1999; Ward et Moscrop, 1999
Migration entre les Antilles et les aires d'alimentation de l'Atlantique Nord	Kennedy <i>et al</i> , 2013; Bérubé <i>et al</i> , 2004; Reeves <i>et al</i> , 2004; Stevick <i>et al</i> , 1998; Martin <i>et al</i> , 1984
Occurrence de rorquals à bosse au sud des Antilles	Fraija <i>et al</i> , 2009; Silva, 2006; Romero <i>et al</i> , 2001
Occurrence de rorquals à bosse au nord des Antilles	Sanders <i>et al</i> , 2005; Swartz <i>et al</i> , 2001b; Roden et Mullin, 2000; Mignucci-Giannoni, 1998; Mattila et Clapham, 1989
Occurrence de rorquals à bosse dans toutes les Antilles	Reeves, 2005a; Swartz <i>et al</i> , 2003; Swartz <i>et al</i> , 2001a; Ward <i>et al</i> , 2001
Données historiques sur la chasse	Robbins <i>et al</i> , 2006; Reeves, 2005b; Smith et Reeves, 2003
Publications sur la population de République Dominicaine	Betancourt <i>et al</i> , 2012; Whaley <i>et al</i> , 2008; Mattila <i>et al</i> , 1994; Mattila <i>et al</i> , 1989; Whitehead et Moore, 1982
Publications sur les populations d'autres îles	Weir <i>et al</i> , 2011; Debrot <i>et al</i> , 2011
Chants de rorquals à bosse aux Antilles	Winn et Winn, 1978
<i>Whale watching</i> aux Antilles	Vail, 2005; Hoyt et Hvenegaard, 2002; Hoyt, 1999
Menaces et prises accidentelles	Fleming et Jackson, 2011; Vidal <i>et al</i> , 1994; Borobia et J. da Silva, 2005;

ii) Sanctuaire Agoa

Le sanctuaire Agoa a été créé en 2010 avec pour objectif de protéger les mammifères marins et leur habitat dans la zone économique exclusive (ZEE) des Antilles française et se trouve sous la direction de l'Agence des aires marines protégées (Aamp) (Anonyme, 2012). L'aire protégée comprend les eaux marines entourant les îles de Martinique, de Saint-Martin (côté français), de Saint-Barthélemy et de l'archipel guadeloupéen (au total 138 000 km²). Elle s'inscrit dans la Convention pour la Protection et la Mise en Valeur du Milieu Marin dans la Région des Caraïbes (dite Convention de Carthagène) et dans le protocole SPAW (*Specially Protected Areas and Wildlife*) (PNUE, 2005; UNEP, 1990) du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). Le Plan de Gestion (Anonyme, 2012) présente l'état des connaissances actuelles au sein de cette aire marine protégée.

Six associations loi 1901 (associations à but non lucratif) sont actives dans le sanctuaire au niveau de la recherche sur les cétacés. Breach, l'OMMAG (Observatoire des Mammifères Marins de l'Archipel Guadeloupéen), l'AET (Association Évasion Tropicale) et Stenella sont présentes en Guadeloupe. La SEPANMAR (Société pour l'Étude, la Protection et l'Aménagement de la Nature en Martinique) et la GRENAT (gestionnaire de la Réserve Naturelle de Saint-Barthélemy) sont actives dans les autres îles. Parmi les informations disponibles pour la Guadeloupe et la Martinique, Rinaldi *et al* (2006) rapportent les observations de mammifères marins en côte sous le vent de Guadeloupe, sans mentionner la présence de rorquals à bosse. La Campagne EXOCET – Antilles (van Canneyt *et al*, 2009) rapporte 12 observations de rorquals à bosse au mois de février 2008 dans toute la ZEE française, pour une estimation de population de 160 individus (entre 50 et 300), grandement sous estimée selon les auteurs. Les données sur l'abondance et la distribution des rorquals à bosse en Guadeloupe obtenues par Gandilhon (2012) estime la population guadeloupéenne à 442 individus (IC 302-645 à 95%) et mentionne la recapture d'un individu entre la Guadeloupe et l'Islande. Le rorqual à bosse de Guadeloupe fréquenterait les zones côtières (<10 km de la côte) et la proportion de femelles accompagnées de baleineaux avoisinerait les 22% (Gandilhon, 2012). La zone d'étude de la présente maîtrise est décrite comme celle où la densité de

rorquals à bosse est l'une des plus élevées avec 0,031 individu/km² (IC 0,016-0,057 à 95%) (Gandilhon, 2012). Quatre individus, soit 3 femelles accompagnées de baleineaux en 2010 et un individu adulte issu d'une paire en 2011, ont été suivis par satellite entre 10 et 90 jours depuis la Guadeloupe (Gandilhon, 2012 ; Kennedy *et al*, 2013). Jérémie *et al* (2005) relatent les observations visuelles (n=2) et acoustiques des baleines à bosse en Martinique et les considèrent comme communes dans ces eaux à la suite des informations recueillies par le SEPANMAR entre 2003 et 2005.

1.3 Problématique

La rétrospective sur la zone d'étude illustre bien le peu de connaissance sur l'espèce dans l'aire d'étude. La pression sur les mammifères marins aurait grandement diminué depuis l'arrêt de la chasse intensive et les connaissances à leur sujet sont également plus difficiles à obtenir compte tenu que beaucoup de cette information provenait des baleiniers. Le *whale watching* est en expansion non seulement au niveau mondial mais également en Guadeloupe, et pourrait générer une pression sur le rorqual à bosse et avoir un impact significatif sur son comportement. Le sanctuaire Agoa a été créé pour le protéger dans la ZEE des Antilles françaises. La première étape vers une protection accrue de l'espèce sera d'acquérir des connaissances sur son écologie et d'évaluer les pressions anthropiques qui s'exercent sur celles-ci. La présente maîtrise s'inscrit dans l'optique de bonifier les connaissances sur cette espèce en suivant ces thématiques.

1.4 Objectifs et questions de recherche

Les objectifs principaux de la recherche sont de caractériser la population de baleines à bosse dans la zone d'étude en décrivant l'utilisation de l'habitat par celle-ci et de connaître et de quantifier les pressions anthropiques qui s'exercent sur cette population. La Figure 8 et le Tableau 3 donnent les détails sur les objectifs généraux et spécifiques ainsi que sur les questions de recherche.

Il est essentiel d'acquérir ces informations car toutes les décisions relatives à la conservation d'une espèce doivent d'abord passer par une connaissance plus approfondie de l'utilisation du territoire par celle-ci ainsi que des pressions s'exerçant sur cette

population. Le choix de la méthode, soit un suivi du mouvement des groupes et des individus à l'aide d'un théodolite depuis un point d'observation terrestre, permettra de répondre à ces questions, en totalité ou du moins partiellement.

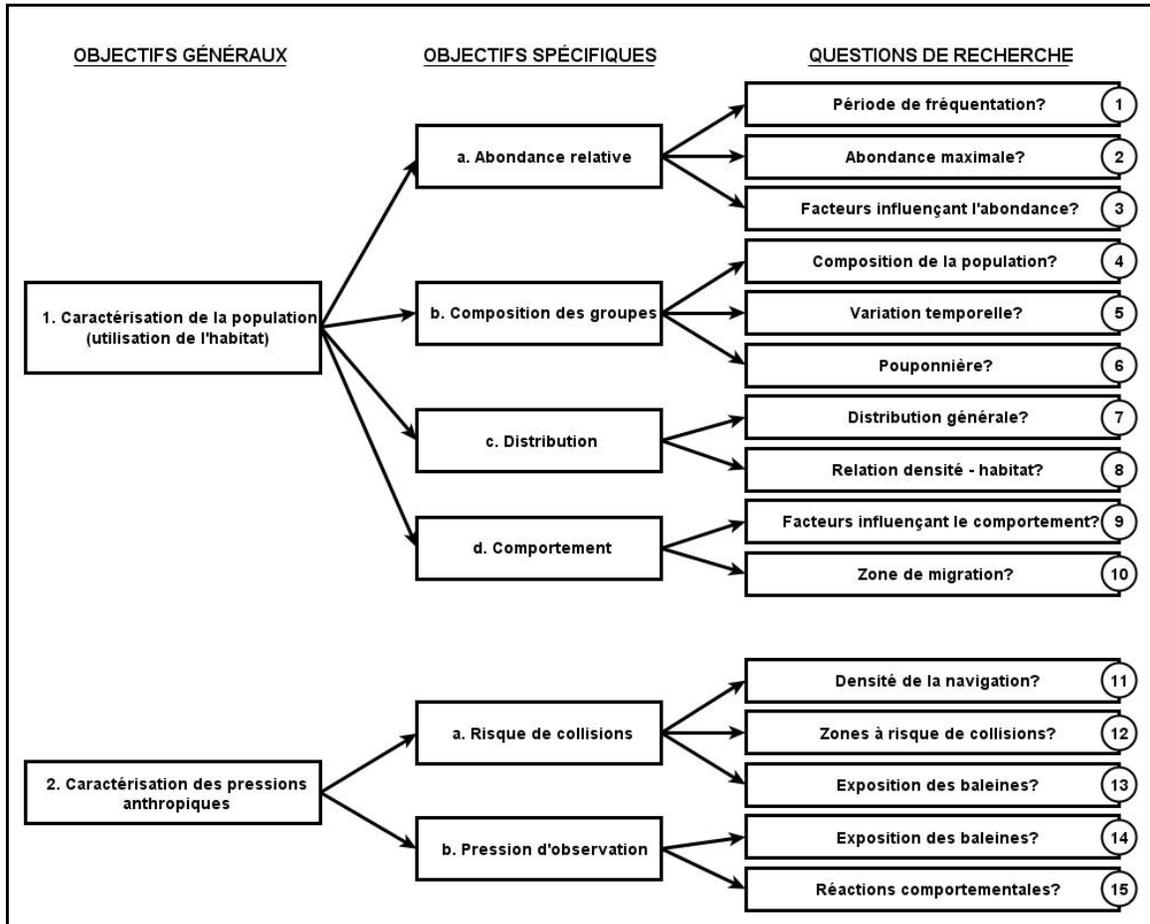


Figure 8 : Représentation schématisée des objectifs généraux, des objectifs spécifiques et des questions de recherche.

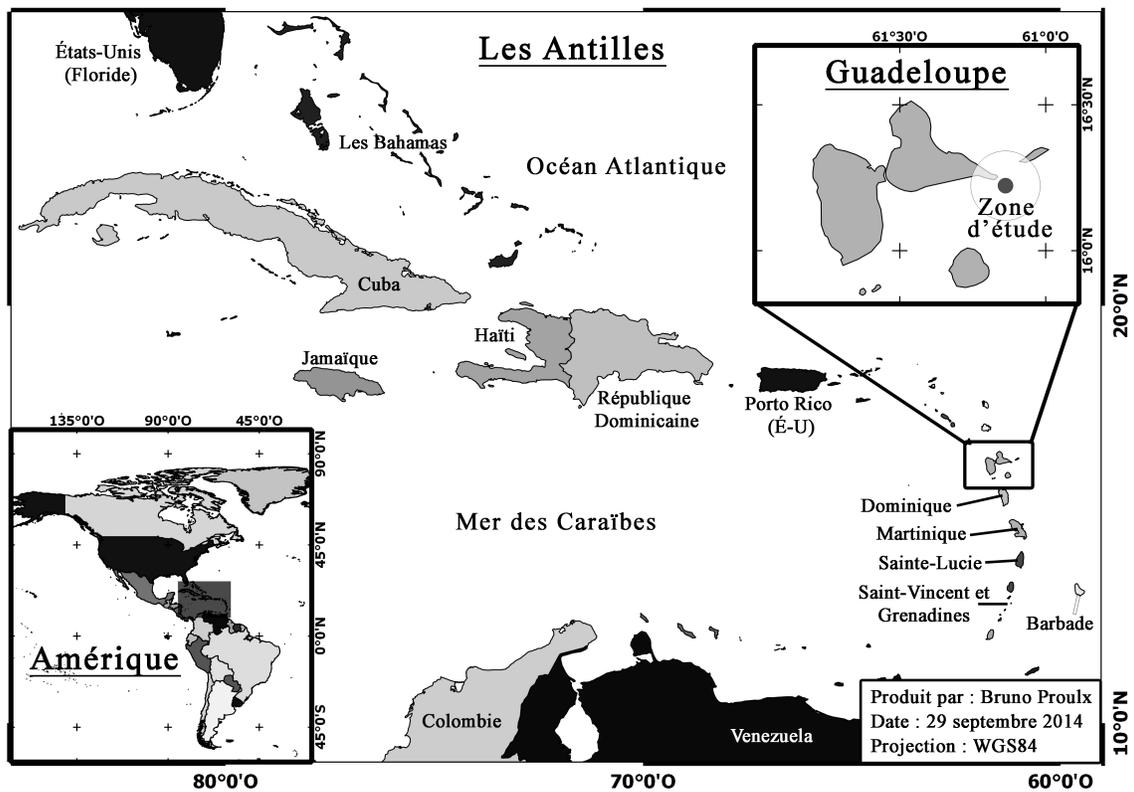
Tableau 3 : Questions de recherche associées aux objectifs spécifiques.

Objectifs		Questions de recherche
1. Caractérisation de la population	1.a	<p>Abondance relative :</p> <p>1. Quelle est la période de fréquentation de l'espèce dans la zone d'étude?</p> <p>2. À quel moment l'abondance relative est-elle maximale?</p> <p>3. Quels facteurs influencent l'abondance relative?</p>
	1.b	<p>Composition des groupes :</p> <p>4. Quelle est la composition des groupes de cette population?</p> <p>5. Comment la composition des groupes varie temporellement?</p> <p>6. S'agit-il d'une pouponnière?</p>
	1.c	<p>Distribution :</p> <p>7. Quelle est la distribution générale des observations?</p> <p>8. Quelle est la relation entre la densité des observations et l'habitat?</p>
	1.d	<p>Comportement :</p> <p>9. Quels sont les facteurs qui influencent le comportement?</p> <p>10. S'agit-il d'une zone de migration?</p>
2. Pressions anthropiques	2.a	<p>Risque de collision :</p> <p>11. Quelle est la densité relative d'embarcations dans la zone d'étude?</p> <p>12. Quelles sont les zones les plus à risque de collision?</p> <p>13. Quelle est l'exposition des baleines au risque de collision?</p>
	2.b	<p>Pression d'observation :</p> <p>14. Quelle est l'exposition des baleines à l'approche d'embarcations?</p> <p>15. Quelle est la réaction comportementale des baleines à l'approche d'embarcations?</p>

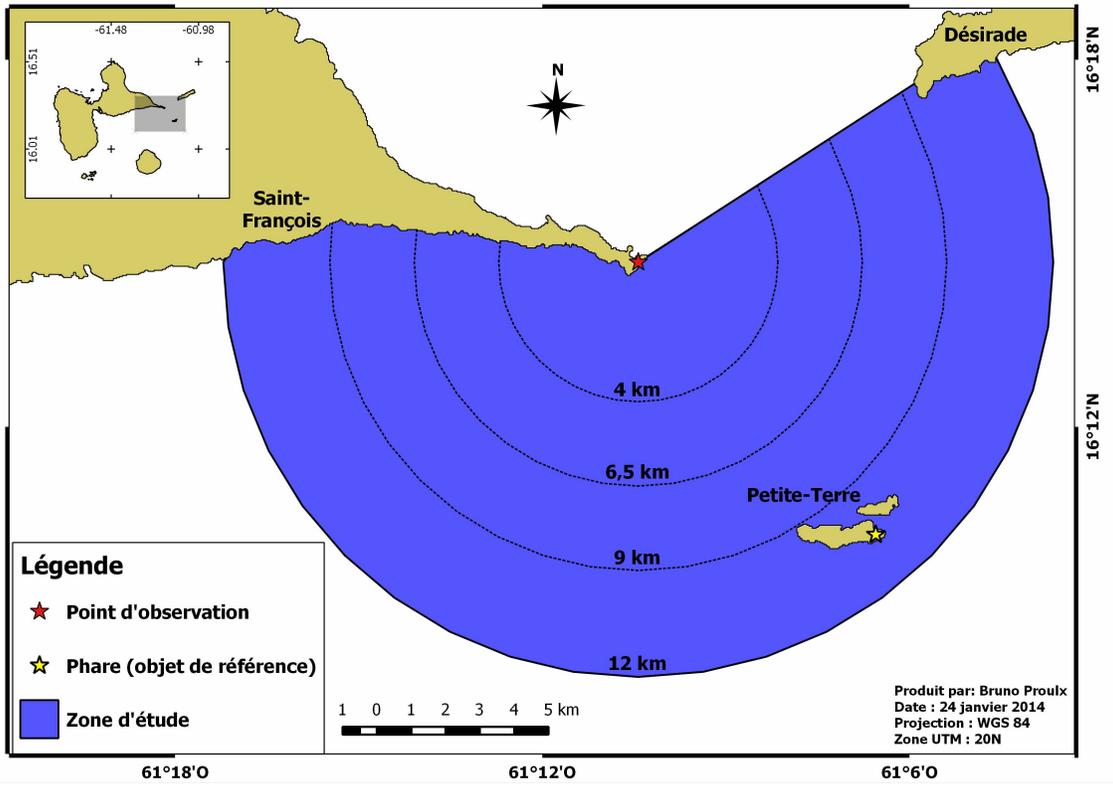
1.5 Région d'étude

La région d'étude se situe au sud de l'arc caribéen, dans les Petites Antilles (Carte 1). La zone d'étude est située à l'est de l'archipel guadeloupéen (Carte 1, Carte 2 et Annexe 5) et couvre une superficie d'environ 264 km². Elle englobe une bonne partie du plateau continental dans ce secteur dont la profondeur varie entre 0 et 40 m ainsi qu'une zone plus profonde (>100 m) à l'est et au sud (Carte 3). La nature du fond est principalement composée de sable grossier à très grossier, de sable et de vase (Augris *et al*, 2000) avec

présence de corail sans pour autant former de récif (Augris *et al*, 2003). La température de l'eau varie entre 26 °C (en hiver) et 29 °C (en été) avec des maximums allant parfois au-delà de 30 °C (Vaslet *et al*, 2013). La population de baleines étudiée est celle fréquentant la zone d'étude en période de reproduction et faisant partie de la population de l'Atlantique Nord (Reilly *et al*, 2008). Les données disponibles avant la présente étude suggéraient que la zone d'étude était assez fréquentée pour obtenir des données suffisantes sur l'espèce par suivi terrestre dans ce secteur (Proulx, 2011 (non publié); Gandilhon, 2012).



Carte 1 : Localisation de la Guadeloupe et de la zone d'étude en Amérique et aux Antilles.



Carte 2 : Zone d'étude.

CHAPITRE 2 : MÉTHODOLOGIE

2.1 Mise en contexte

L'étude des baleines à bosse par suivi terrestre demande un certain niveau de connaissance facilitant la prise de décision dans la mise en place de la méthode. Certains termes seront d'abord définis puis l'étude du comportement, de l'utilisation de l'habitat et des pressions anthropiques ainsi que la méthode propre au suivi terrestre seront abordées dans cette section.

A) Définitions

Une **saison** est définie comme la période de fréquentation des eaux guadeloupéennes du rorqual à bosse, normalement de décembre jusqu'à la fin du mois de mai. Une **vigie** est une période d'observation continue à partir du point d'observation. Un **bloc d'observation** (BO) se définit comme une subdivision de la vigie, d'une heure exactement, où le nombre de groupes et d'individus observés est lié aux autres variables environnementales (Morete *et al*, 2008). Un **baleineau** est considéré comme un individu de petite taille, de moins de 50% de la taille de l'adulte, normalement à proximité d'un adulte pouvant être considéré comme sa mère (Schaffar *et al*, 2010, Schaffar *et al*, 2009). Une **femelle** est, dans notre situation, un individu adulte accompagné d'un baleineau, le sexe des autres individus étant impossible à déterminer depuis un point d'observation terrestre. De plus, les individus immatures sont difficiles à différencier de l'adulte (Morete *et al*, 2007, Morete *et al*, 2008), bien que Félix (2004) ait défini 3 classes d'âge (baleineau, juvénile et adulte). Une **pouponnière** est un habitat favorable aux femelles accompagnées de baleineaux. Un **groupe** est considéré comme un ou plusieurs individus se trouvant à moins de 100 mètres les uns des autres, faisant habituellement surface en même temps, se dirigeant dans la même direction et exprimant un comportement similaire (Félix, 2004). Certains auteurs (par exemple : Scheidat *et al*, 2004; Lusseau *et al*, 2009) suggèrent des distances inférieures entre les individus pour les considérer dans un même groupe. Une distance de 100 mètres entre les individus a été choisie étant donné la difficulté à évaluer visuellement la distance précise entre deux objets sur un plan d'eau (Baird et Bukhart, 2000). L'**escorte** est un ou plusieurs mâles accompagnant une femelle

(Berta *et al*, 2006). L'escorte sera considérée seulement lorsqu'une femelle avec son baleineau est accompagnée d'un ou plusieurs adultes (Morete *et al*, 2007). Une **remontée** se caractérise par tous comportements d'un groupe ou d'un individu où au moins une partie du corps fait surface ainsi que la série d'informations qui y sont liées. Une **séquence respiratoire** est une série de remontées rapprochées avant une plongée plus longue (Berta *et al*, 2006). Une **embarcation** est caractérisée par tous les navires de plaisance, de commerce ou de pêche, se trouvant sur l'eau dans la zone d'étude. Une **interaction** est lorsqu'une embarcation commerciale ou non approche à moins d'une certaine distance d'un groupe suivi (Lusseau *et al*, 2009). On divise l'interaction en trois phases, soit avant que l'embarcation entre dans le périmètre, pendant sa présence dans ce périmètre et après avoir quittée la zone d'approche (Bejder et Samuels, 2003; Morete *et al*, 2000; Scheidat *et al*, 2004).

B) Étude comportementale

L'étude du comportement, c'est-à-dire l'éthologie, est un domaine d'étude touchant à plusieurs disciplines, autant en sciences sociales et humaines qu'en écologie. Ce domaine s'est particulièrement développé pour l'étude des primates (voir Altmann, 1974) et trouve écho dans l'étude des cétacés relativement récemment. Par exemple, lors d'une recherche rapide parmi les publications sur le comportement (mot-clé : *behavior*) consultées pour faire cette étude (soit plus de 35 articles), 2 datent des années 1980, une dans les années 1990, et plus d'une trentaine dans les années 2000, dont la majorité sont postérieures à 2005. Sans se vouloir une revue de la littérature exhaustive et objective, cela démontre la jeunesse de ce domaine d'étude dont plusieurs avancées restent à faire et de nouvelles méthodes peuvent être explorées. L'étude du comportement animal peut s'effectuer de multiples manières selon les résultats recherchés. Un portrait des différentes techniques est dressé. Les choix de méthodes en fonction des objectifs de la maîtrise et de l'espèce étudiée sont justifiés.

En éthologie, il est possible de suivre indépendamment soit les groupes, soit les individus. Cette dernière méthode exige de pouvoir discerner rapidement les individus au sein du groupe (Mann, 1999). Le suivi des groupes est habituellement plus aisé. On

définit un groupe comme tous les individus suffisamment proches pour être confondus, en établissant des règles de décision quand les individus joignent ou quittent le groupe (Mann, 1999). Ce n'est pas toujours facile de différencier individuellement les rorquals à bosse à grande distance. Par contre, il est parfois possible de suivre chaque individu sans compromettre le suivi du groupe. Dans notre cas, l'individu est souvent identifiable durant une même séquence respiratoire, lorsqu'il y a moins de 3 individus dans le groupe, mais il est difficile de faire l'identification individuelle lors de séquences respiratoires subséquentes. Un protocole de suivi individuel a été choisi malgré tout, car même s'il y a confusion entre les individus d'un groupe, les données seront suffisantes pour analyser le groupe en entier. Par contre, s'il est choisi de suivre les groupes, l'analyse du comportement individuel n'est plus possible. En résumé, les informations sur le comportement individuel pourront servir, du moins pour certains groupes, et ne compromettent pas l'acquisition de données pour le suivi simultané du groupe.

Lors du suivi des individus ou des groupes, il y a deux manières de voir les comportements, soit comme un évènement (discret, sans durée) ou comme un état (continu, avec durée) (Altmann, 1974; Mann, 1999). L'étude d'évènements nécessite de compiler chacun des comportements au moment précis où le groupe ou l'individu suivi l'accomplit (Altmann, 1974). La majorité des observations qui sont faites sur les cétacés se produisent habituellement lorsqu'ils sont brièvement en surface et peuvent être compilées comme des évènements. Avant d'aller plus loin, il est primordial de définir les comportements et de les schématiser sous forme d'éthogramme. Les Annexes 3 et 4 illustrent ce travail pour les comportements de surface du rorqual à bosse en période de reproduction. Il est à noter que certains comportements (par exemple frapper la surface de l'eau avec la queue ou la nageoire pectorale (c'est-à-dire TS, PS et DPS aux Annexes 3 et 4)) seront notés comme un état avec un début, une fin et un décompte, car il est trop difficile de les compiler comme évènement vu la rapidité d'exécution (parfois plus de 6 évènements à la minute).

Une fois les comportements décrits, il faut déterminer la manière de les prendre en note. Altmann (1974) décrit 6 manières d'échantillonner les données : l'échantillonnage *ad*

libitum, la matrice d'achèvement sociométrique, l'échantillonnage focal individuel, l'échantillonnage complet de certains comportements, l'échantillonnage séquentiel, l'échantillonnage binaire (1 et 0) et l'échantillonnage instantané et de balayage. L'échantillonnage continu *ad libitum* (le plus possible, sans horaire prédéfini) a été choisi, permettant une analyse quantitative des comportements, combiné à l'échantillonnage focal ne tenant pas compte des interactions interindividuelles (Altmann, 1974). Altmann (1974) met en garde face à cette méthode qui peut induire certains biais et limiterait l'analyse, bien que Mann (1999) la décrive comme la plus commune dans l'étude des cétacés, particulièrement pour des petits groupes (c'est-à-dire moins de 3 individus). L'analyse du taux d'occurrence de certains comportements doit obligatoirement être ramenée en unité de temps et l'effort d'échantillonnage doit être mentionné (Altmann, 1974). Les biais encourus par cette méthode seront considérés, d'autant plus que l'analyse comportementale décrite ici n'est pas le thème principal de cette maîtrise.

C) Utilisation de l'habitat

L'habitat, c'est-à-dire l'environnement où évolue une espèce, comprend autant les facteurs abiotiques que biotiques (Acevedo-Gutiérrez, 2009) et peut être définis comme les caractéristiques d'une zone favorable aux individus à un moment ou un autre de leur cycle naturel (Doligez et Boulinier, 2008). L'utilisation de l'habitat par une espèce peut être considérée à une échelle spatiale autant que temporelle en analysant sa distribution et son abondance (Doligez et Boulinier, 2008; Acevedo-Gutiérrez, 2009). La notion d'échelle est importante et l'analyse peut s'effectuer sur des superficies (2 dimensions) ou des volumes (3 dimensions) et des durées variables. Par exemple, le mouvement migratoire des rorquals à bosse dans l'Atlantique Nord, entre les zones d'alimentation et de reproduction, est une forme d'utilisation de l'habitat de ce bassin océanique sur une échelle annuelle. La sélection des sites propices à l'alimentation ou à la reproduction et les mouvements quotidiens représente une échelle plus fine. Le présent mémoire traite de l'utilisation de l'habitat à ce niveau. Les espèces choisissent l'habitat le plus propice parmi une quantité d'environnements de qualités inégales, en effectuant des compromis selon leurs besoins et leurs capacités, le tout influençant grandement la *fitness* des

individus (Doligez et Boulinier, 2008). Des facteurs intrinsèques à l'espèce comme l'âge, le sexe, le cycle biologique et les variations individuelles en influencent le choix autant que des facteurs externes tels que l'abondance des proies, les risques de prédation, la compétition intraspécifique et l'influence anthropique (Acevedo-Gutiérrez, 2009). L'utilisation de l'habitat par des rorquals en ce qui concerne la distribution spatiale, soit générale ou en fonction de facteur abiotique comme la profondeur moyenne, la distance de la côte ou la température, a déjà été décrite dans plusieurs manuscrits (par exemple : Martins *et al*, 2001; Ersts et Rosenbaum, 2003, Cartwright *et al*, 2012; Oviedo et Solis, 2008; Craig et Herman, 2000; Smith *et al*, 2012; Vigness-Raposa, 2010). D'autres études traitent de la variation temporelle d'abondance (Morete *et al*, 2008; Morete *et al*, 2007; Betancourt *et al*, 2012). La population de rorquals à bosse de l'Atlantique Nord a peu fait l'objet d'études à ce sujet (Whitehead et Moore, 1982; Sanders *et al*, 2005; Betancourt *et al*, 2012; Gandilhon, 2012). De plus, ces recherches traitent presque exclusivement des Grandes Antilles. La distribution cosmopolite de l'espèce incite à croire que l'utilisation de l'habitat pourrait différer d'une population à l'autre, ce qui justifie de reconduire ce même genre d'analyse dans la zone caribéenne, plus particulièrement dans les Petites Antilles.

Il faut garder en tête que les causes sous-jacentes à la distribution et l'abondance des cétacés sont rarement définies clairement (Acevedo-Gutiérrez, 2009). Les facteurs d'âge et de sexe (par exemple les femelles accompagnées de baleineaux), de compétition intraspécifique, de bathymétrie, de cycle de vie (zone de reproduction, de migration) et l'influence anthropique sur la distribution seront explorés.

D) Pressions anthropiques

Une pression anthropique représente toutes les actions humaines pouvant influencer sur la viabilité et/ou la reproduction des individus de l'espèce. L'observation opportuniste ou commerciale des cétacés dans leur milieu naturel (*whale watching*) et le trafic maritime à proximité des zones utilisées par ces animaux pouvant impliquer un risque de collision sont explorés.

La pratique du *whale watching* peut avoir des impacts directs et indirects sur les cétacés. Plusieurs études se sont attardées sur la question (par exemple : Stamation *et al*, 2010; Scheidat *et al*, 2004; Kuo *et al*, 2012; Bejder et Samuels, 2003; Ritter 2003; Parson et Scarpaci, 2010; Scarpaci et Parson 2011; Lusseau et Bejder, 2007; Parsons, 2012), mais les connaissances restent partielles quant à l'impact comportemental du *whale watching* sur les cétacés à fanons (IWC, 2009) et les effets à long terme sont encore inconnus (Lusseau et Bejder, 2007). Un consensus demeure : les variations interspécifiques et géographiques demandent une approche locale, autant dans l'acquisition de données que dans la mise en place de législation (IWC, 2004). Weinrich *et al* (2008), dans une revue de littérature sur le sujet, mettent en lumière que la recherche à ce niveau est partielle, que la méthode diffère d'une étude à l'autre rendant difficile les comparaisons. Le projet LaWE (*Large-scale Whalewatching Experiment Initiative*) de la Commission Baleinière Internationale (CBI) tente de remédier à la situation. Les impacts potentiels ou avérés à court terme du *whale watching* sont nombreux : la modification de l'intervalle entre les souffles, du temps de plongée, de la vitesse de déplacement, de l'espacement interindividuel et ultimement un changement définitif d'habitat (Weinrich *et al*, 2008; Williams *et al*, 2009). La réponse des cétacés aux perturbations anthropiques peut être pratiquement nulle, et dans le pire des cas occasionner le décès de l'individu. Les effets à long terme sont assez variés, allant de la modification des périodes de repos ou d'alimentation jusqu'aux perturbations du cycle de reproduction (Parsons, 2012). La réponse comportementale à court terme peut s'exprimer de deux manières : par un évitement horizontal (c'est-à-dire un changement de vitesse et de direction) ou par l'évitement vertical (c'est-à-dire un changement dans la durée de plongée) (Williams *et al*, 2002a et b). Pour le rorqual à bosse, un consensus dans le milieu scientifique (IWC, 2009) s'accorde sur l'augmentation significative de la vitesse de déplacement en présence d'embarcations (Schaffar *et al*, 2009; Weinrich *et al* 2008; Morete et Bisi, 2006; Scheidat *et al*, 2004). D'autres informations sont disponibles, bien que l'échantillonnage soit faible et que la méthodologie diffère grandement d'une étude à l'autre (Weinrich *et al*, 2009). Par exemple, des études sur le changement dans le temps de plongée (Stamation *et al*, 2010), les effets sur les vocalisations (Sousa-Lima et Clark, 2008), l'indice de linéarité (voir la Figure 11) (Morete et Bisi, 2006; Scheidat *et al*, 2004) et sur certains

comportements (Corkeron, 1995; Morete et Bisi, 2006; Stamation *et al*, 2010) présentent des résultats significatifs. Les femelles accompagnées de baleineaux seraient plus sensibles que les groupes composés seulement d'adultes (Stamation *et al*, 2010; Morete et Bisi, 2006).

Tous types de navigation, que ce soit de plaisance, commerciale ou orientée vers l'observation des mammifères marins, présentent un risque potentiel de collision lorsqu'elle se situe dans l'habitat des cétacés. Le risque de collision augmente en fonction de la vitesse de l'embarcation (voir Figure 9). En superposant la densité de la navigation avec la densité des cétacés, il est possible de déterminer les zones les plus à risque de collision (par exemple : Williams et O'Hara, 2010; Chion *et al*, 2012; Evans *et al*, 2011; David *et al*, 2011).

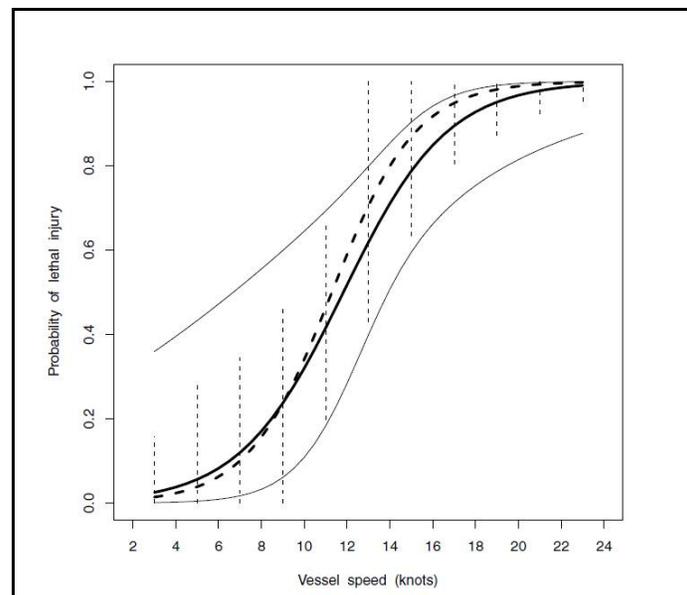


Figure 9 : Probabilité qu'une collision soit mortelle (en ordonnée) en fonction de la vitesse en nœuds d'une embarcation (en abscisse). Figure tirée de Vanderlaan et Taggart (2007) p.148

La figure 9 a été produite à partir des données présentées par Jensen et Silber (2003) et analysées par Vanderlaan et Taggart (2007) à partir de navires à moteur, pour la plupart de grandes tailles, quoique certaines embarcations de plus petites tailles aient été considérées. Bien que le risque relatif de collision mortelle pour des embarcations à voile

ne soit pas considéré dans ces deux publications, Ritter (2009) rapporte plusieurs cas de collisions entre grands voiliers monocoques (>10m) et grands cétacés, dont une plus grande occurrence avec la baleine à bosse.

Des recommandations de réduction de vitesse et de vigilance de la part des capitaines suivent généralement ces études, avec parfois des modifications dans les corridors de navigation (Vanderlaan *et al*, 2008), mesures qui se sont avérées efficaces, du moins pour la baleine noire de l'Atlantique Nord (*Eubalaena glacialis*) (Laist *et al*, 2014).

E) Suivi terrestre

Le suivi terrestre à l'aide d'un théodolite n'est pas une technique nouvelle pour suivre les déplacements des cétacés et a été utilisé sur de nombreuses espèces. Würsig *et al* (1991) décrivent en détail les fondements de base à l'utilisation d'un tel appareillage pour le suivi des mouvements des cétacés, particulièrement des dauphins. Lerczak et Hobbs (1998) quant à eux détaillent les calculs nécessaires pour dériver une position géographique à partir des mesures angulaires fournies par le théodolite. La Figure 10 illustre la conversion théorique des angles obtenus grâce au théodolite en positions géographiques.

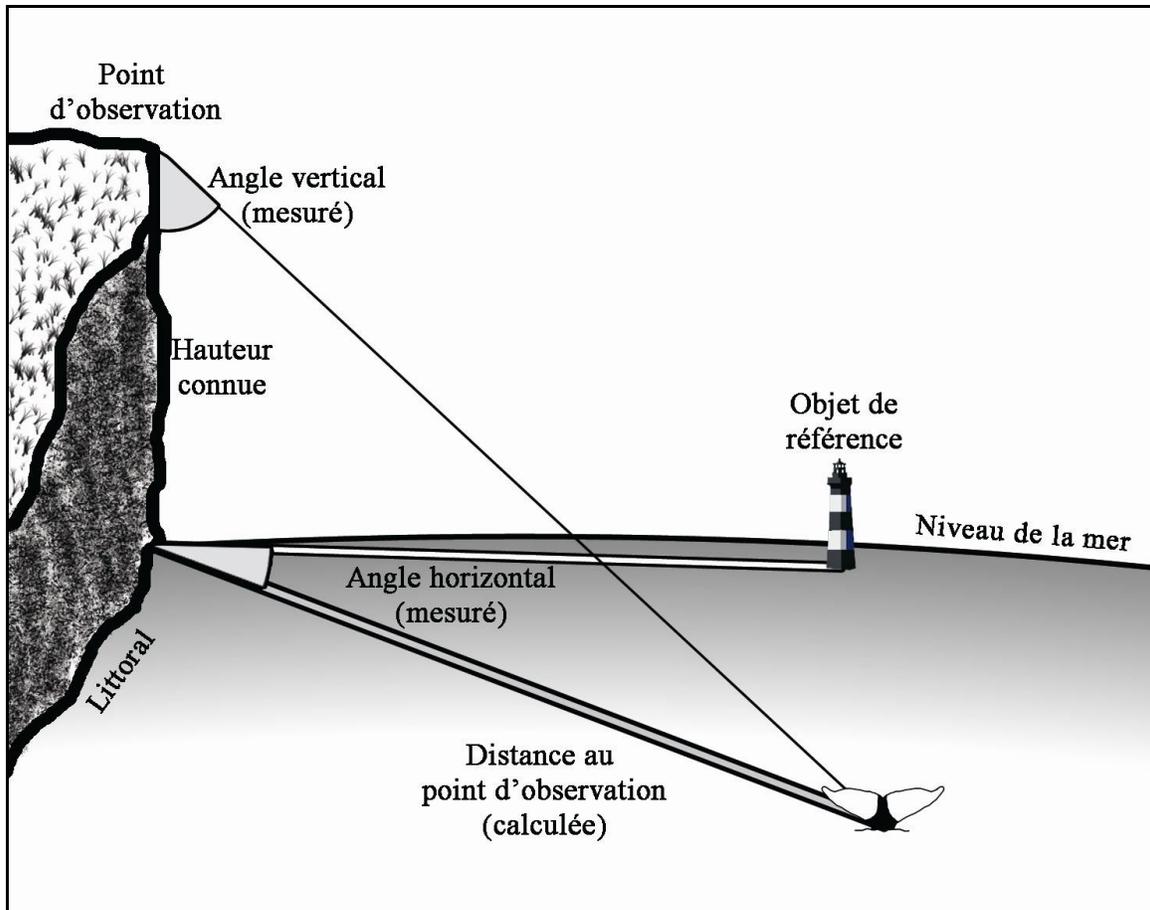


Figure 10 : Schéma illustrant le calcul permettant d'estimer la distance entre le point d'observation et le mammifère marin observé ainsi que la position géographique à partir de l'objet de référence.

Plusieurs études ont été effectuées un peu partout dans le monde par suivi terrestre sur des populations de rorquals à bosse en période de reproduction. Certains groupes de recherche ont été particulièrement actifs et ont publié plusieurs manuscrits (voir le Tableau 4) qui ont grandement servi à l'élaboration du protocole de suivi en Guadeloupe.

Un constat s'impose : peu de recherches ont été publiées par suivi terrestre des rorquals à bosse dans l'Atlantique Nord (à l'exception de Martins, 2012) et aucune dans la zone caraïbe. Le *Marine & Coastal Ecology Research Center* de Puerto Rico semble travailler sur le même genre de suivi, mais aucune publication n'est disponible pour le moment.

Tableau 4 : Publications par suivi terrestre pour 2 espèces (rorqual à bosse et épaulard) dans différentes régions du monde.

Régions	Espèce	Publications
Brésil	Rorqual à bosse	Lunardi <i>et al</i> , 2010; Morete <i>et al</i> , 2008; Lunardi <i>et al</i> , 2008; Morete et Bisi, 2006; Morete <i>et al</i> , 2003; Morete <i>et al</i> , 2000
Nouvelle-Calédonie	Rorqual à bosse	Schaffar <i>et al</i> , 2010; Schaffar <i>et al</i> , 2009
Australie	Rorqual à bosse	Noad <i>et al</i> , 2011; Hedley <i>et al</i> , 2009; Paxton <i>et al</i> , 2006; Noad <i>et al</i> , 2006
Canada	Rorqual à bosse	Martins, 2012
Équateur	Rorqual à bosse	Scheidat <i>et al</i> , 2004
Côte ouest américaine	Épaulard (<i>Orcinus orca</i>)	Lusseau <i>et al</i> , 2009; Williams <i>et al</i> , 2009; Williams <i>et al</i> , 2002a; Williams <i>et al</i> , 2002b

2.2 Choix du point d'observation

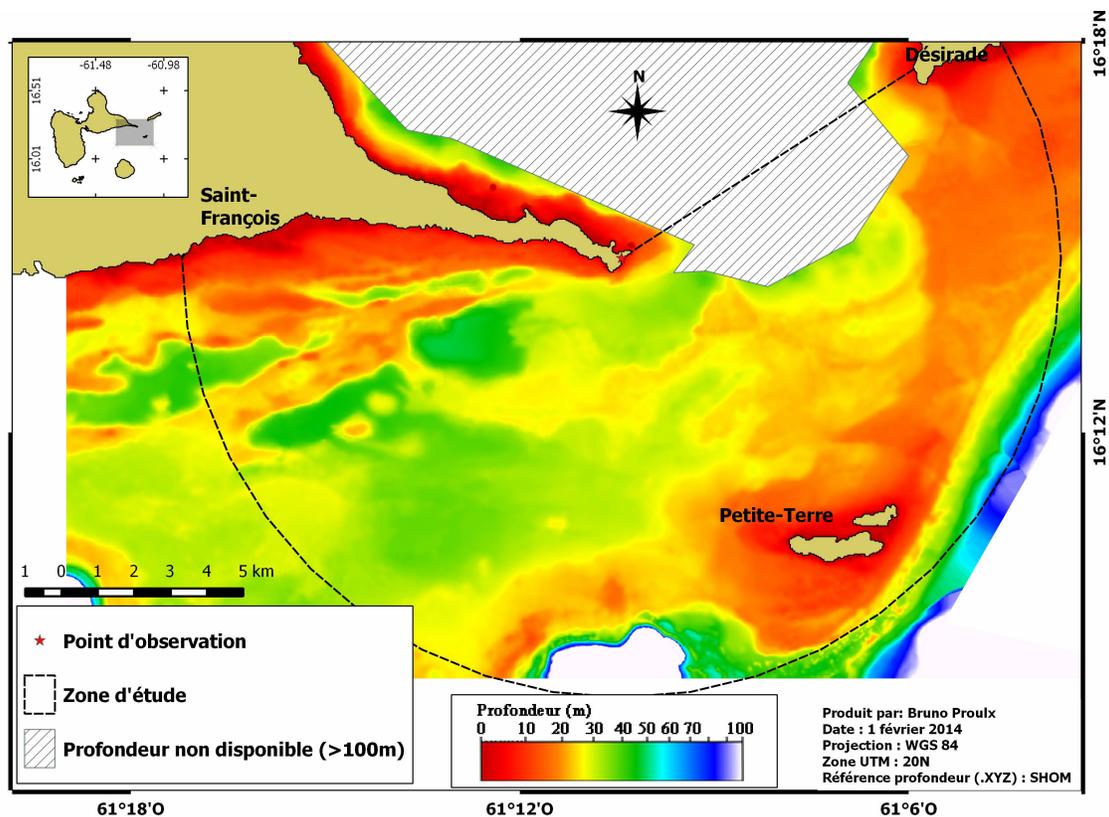
L'acquisition de données s'est faite depuis un point d'observation élevé à l'est de la Guadeloupe, soit la Pointe-des-Châteaux, permettant d'observer les baleines à bosse sur une grande zone. Une campagne d'observation, à l'aide de jumelles réticulées et de plus de 90 heures de suivi, a été entreprise en 2011 dans cette zone d'étude depuis ce point d'observation afin d'évaluer la faisabilité de ce programme de recherche (Proulx, 2011 (non publié)). Cette étude préliminaire a permis de souligner la faisabilité d'un tel suivi à cet endroit et il a été recommandé de mettre en place un protocole plus élaboré pour l'année suivante afin de répondre aux nombreuses questions posées par cette étude préliminaire. La hauteur du point d'observation estimée à 41,29 mètres (section 2.6) est suffisante, soit plus de 30 m au dessus du niveau de la mer, comme suggérée par Würsig *et al* (1991). Pour évaluer la limite de la zone d'observation, il faut considérer la ligne d'horizon se trouvant à plus de 20 km du point d'observation selon les calculs fournis par Lerczak et Hobbs (1998). Le Tableau 5 présente le rayon de la zone d'observation de différentes études similaires selon l'altitude du point d'observation. À partir de ces informations, le rayon de la zone d'observation a été fixé à 12 km du point d'observation, comme suggéré par Hedley *et al* (2009).

Tableau 5 : Rayon de la zone d'observation (km) selon l'altitude (m) du point d'observation (PO) pour d'autres études similaires.

Altitude du PO (m)	Rayon de la zone d'observation (km)	Références
25,5	12	Hedley <i>et al</i> , 2009
37,8	9,3	Morete <i>et al</i> , 2008; Morete <i>et al</i> , 2007
189	14,8	Schaffar <i>et al</i> , 2009

2.3 Production d'une carte bathymétrique

La carte bathymétrique (Carte 3 et Annexe 6) a été produite grâce aux données Litto 3D[®] (licence ouverte) du Service hydrographique et océanographique de la marine (SHOM). Ces données, sous le format .XYZ, proviennent d'une campagne de sondage multifaisceaux effectuée en février et mars 2011. Une sélection d'environ 1% des données a été effectuée (n=623 724) considérant que cette base de données comprend des millions de positions et de profondeurs et que la capacité de calcul était limitée. Du krigeage ordinaire a permis d'obtenir une carte des profondeurs. La profondeur n'était pas disponible pour environ 16% de la zone, ce qui correspond à la zone de grande profondeur entre la Pointe-des-Châteaux et la Désirade.



Carte 3 : Bathymétrie de la zone d'étude.

2.4 Méthodologie du suivi terrestre

A) Mise en place de l'étude

Le projet de recherche LaWE (IWC, 2004; IWC, 2009; Lusseau et Senigaglia, 2011) de la commission baleinière internationale (CBI), a pour objectifs de rassembler, à l'échelle planétaire, les informations sur l'impact du *whale watching* sur les cétacés à court, moyen et principalement à long terme (IWC, 2009). Les recommandations du LaWE (Senigaglia, 2011a,b,c,d,e et f) ont été utilisées pour mettre en place cette étude afin d'acheminer éventuellement les données à la CBI. L'étude préliminaire de 2011 (Proulx, 2011 (non publié)) a également servi à ajuster le protocole utilisé en 2012 et 2013.

i) Équipe de travail et formation

Le travail s'effectue normalement avec un minimum de 3 observateurs par vigie et la division des tâches est la suivante : un opérateur de théodolite, un preneur de notes et les autres observent la zone d'étude sans arrêt à l'œil nu et aux jumelles pour ne pas perdre de remontées ni de groupes et en confirmer la composition (Senigaglia, 2011b; Morete *et*

al, 2007; Morete *et al*, 2008; Noad *et al*, 2011; Morete *et al*, 2000, William *et al*, 2002a). Comme il est difficile de trouver suffisamment de bénévoles pour combler ces trois postes à chacune des vigies, un minimum de 2 observateurs était requis pour faire une vigie. Bien que Senigaglia (2011b) propose une rotation des tâches toutes les heures pour éviter la fatigue, Schaffar *et al* (2009) proposent d'attirer toujours la même personne à chacune des tâches pour éviter les biais. Cette dernière option a été préconisée.

La formation de l'équipe est essentielle pour assurer la qualité des données (Evans et Hammond, 2004; Dawson *et al*, 2008) et également un prérequis à la participation au projet LaWE (Senigaglia, 2011d,f). La formation des bénévoles s'est faite lors d'une rencontre d'information en début de saison et au fur et à mesure des vigies. Les deux premières semaines ont été considérées comme de formation, l'abondance de baleines n'étant pas à son maximum, c'était l'occasion pour l'équipe de se familiariser avec le matériel et la méthode.

ii) Mesures géographiques et marées

Les mesures de la position du point d'observation (longitude :-61.10259103, latitude : 16.14414972) marqué d'une borne géodésique et sa hauteur par rapport au niveau de la mer (40,89 m) ont été mesurées le 17 décembre 2011 par Louis Caudrelier, Géomètre-Expert du Cabinet Simon et Associés. La hauteur a été calibrée (voir la section 2.6) et ajustée à 41,29 m au dessus du niveau de la mer.

Les marées, à raison de 2 cycles inégaux par jour, ne dépassent pas 1 mètre en Guadeloupe et sont de 30 à 40 cm inférieures du côté de la mer des Caraïbes (Pujos *et al*, 1992). Cette information est importante car elle permet d'augmenter la précision des mesures de position. Bien que Scheidat *et al* (2004) ait négligé l'effet de marée, car il représente moins de 1% de la hauteur du point d'observation, les données du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) ont été utilisées pour ajuster la hauteur du point d'observation en fonction de la marée. Peu d'informations existent sur la courantologie en Guadeloupe et sur les courants occasionnés par la marée. Le Tableau 6 présente les informations disponibles tirées de Pujos *et al* (1992).

Tableau 6 : Résumé des mesures prises par Pujos *et al* (1992) sur les courants de marée dans le secteur de Saint-François et de La Désirade. Abréviations : MB - heure de la marée basse, MH - heure de la marée haute, MB/2 - mi-marée montante, MH/2 - mi-marée descendante.

		Désirade	Saint-François
Profondeur de la sonde (m)		9	5
Coordonnées de la sonde	Latitude	16°14'36''N	16°11'24''N
	Longitude	61°26'48''O	61°19'12''O
Type de courant		Unidirectionnel à semi-rotatif	Unidirectionnel
Orientation du courant (marée montante)		NNO	E
Orientation du courant (marée descendante)		NE	NNE
Heure du courant le plus faible		MB + 1 heure	MH – 1 heure
Vitesse (cm/s)		10	6,5
Heure du courant le plus fort		MB/2 + 1 heure	MB et MB/2 et MH/2
Vitesse (cm/s)		20 à 25	17
Déplacement virtuel (km/h)		8,9	5,3
Orientation générale		NNO	ENE

B) Matériel et méthode d'observation

Une liste du matériel et les fiches de terrain se trouvent aux Annexes 7 et 8. Le matériel a dû être installé tous les jours sur le point d'observation et a demandé une attention particulière (Senigaglia, 2011b). Le théodolite a été positionné au dessus de la borne géodésique du point d'observation à tous les débuts de vigie. Il a ensuite été nivelé avant d'ajuster l'angle horizontal zéro de l'appareil sur le point horizontal de référence, c'est-à-dire la pointe supérieure du phare de Petite-Terre (longitude : -61°06'33''184, latitude : 16°10'14''300). Ces deux dernières étapes ont été répétées au moins toutes les heures et si le trépied du théodolite avait bougé.

La planification des sessions d'observation a principalement été effectuée selon les contraintes de personnel (bénévoles et chercheur), pour éviter la chaleur (entre 11h et 14h) et les conditions météorologiques mauvaises (c'est-à-dire le vent et la pluie). Les périodes d'observation s'effectuaient soit tôt le matin (entre 6h et 11h), soit en fin d'après-midi (entre 14h et 18h30). Une attention a été portée à distribuer les sessions

d'observation entre le matin et l'après-midi, bien que les conditions météorologiques, particulièrement l'état de la mer, étaient meilleures le matin. Les vigies ne devaient pas dépasser 6 heures (Senigaglia, 2011b) et elles se terminaient après 3 heures de suivi sans observation ou si les conditions météorologiques se détérioraient (Morete *et al*, 2000). Un effort d'échantillonnage d'au moins 100 heures/saison a été réalisé considérant les contraintes de personnel et de conditions météorologiques.

i) Météorologie et observateurs

Les conditions météorologiques ont été notées en début d'exercice, à chaque heure, pour tous les changements significatifs et pour tous les arrêts temporaires (Noad *et al*, 2011, Morete *et al*, 2000). En parallèle, les informations sur les observateurs ont été prises à nouveau en note (observateurs présents et distribution des tâches). Les informations météorologiques suivantes (Encadré 1 et Annexe 9) sont notées (inspirées de Noad *et al*, 2011; Morete *et al*, 2000; Senigaglia 2011b,f).

Encadré 1 : Informations météorologiques.

<u>Nuage</u> :	couverture nuageuse par tranche de 5%.
<u>Visibilité</u> :	transparence de l'air, % de la zone d'étude où les souffles sont visibles sans compromettre l'observation, par tranche de 5% (exemple : 100%= toute la zone est visible clairement). Peut être affecté par l'humidité de l'air, les embruns, la pluie sur la zone et les tempêtes de sable venant du Sahara.
<u>Reflets</u> :	à la surface de l'eau, zone lumineuse où les observations sont pratiquement impossible en raison des reflets du soleil, noté en % par tranche de 5% (à l'est le matin, à l'ouest en après-midi).
<u>Température</u> :	température de l'air à l'ombre en °C.
<u>Direction du vent et de la houle</u> :	provenance selon l'azimut (NSEW).
<u>Condition de la mer</u> :	selon l'échelle Beaufort et Douglas (voir l'Annexe 9 pour plus de détails).

La vigie a été interrompue si la visibilité et/ou les reflets gênaient l'observation sur plus de 50% de la zone, si la condition de la mer était supérieure à 3 sur l'échelle Douglas et/ou supérieure à 4 sur l'échelle Beaufort (Senigaglia, 2011f; Noad *et al*, 2011; Morete et Bisi, 2006) et si la présence de moutons sur l'eau empêchait de voir les souffles (Evans et Hammond, 2004). La condition de la mer est étroitement liée à la détectabilité (Evans et Hammond, 2004).

ii) Abondance, caractéristiques et distribution des embarcations

Toutes les 15-20 minutes, la zone d'étude était parcourue en moins de 5 minutes avec des jumelles et le nombre total d'embarcations était noté (Lusseau *et al*, 2009) à l'est et à l'ouest de la zone d'observation, en distinguant le mode de propulsion (*à voile* ou *à moteur*, un voilier sans les voiles sorties est considéré comme *à moteur*) et la taille (*petites* (<10m), *moyennes* (10-25m) et *grandes* (>25m)). Ces mesures permettent de quantifier et de temporaliser les pressions anthropiques dues à la présence d'embarcations.

iii) Trajectoires des embarcations commerciales

Dans la mesure du possible, c'est-à-dire lorsqu'il n'y a pas de baleines ou entre les séquences respiratoires de celles-ci, la position, le type, la taille, l'heure exacte, le comportement et le nom des embarcations commerciales traversant la zone d'étude ont été pris (voir l'Annexe 10 pour les détails). Ces mesures permettront de déterminer les corridors de navigation des embarcations ainsi que d'estimer le risque de collision.

iv) Trajectoires des baleines et des embarcations en approche

Une fois le matériel installé et la vigie débutée, l'équipe scrutait la zone d'étude à la recherche de souffles, d'éclaboussures et de parties du corps exposées indiquant la présence de baleines (Morete *et al*, 2007; Morete *et al*, 2008). Le suivi était continu pendant toute la durée de la vigie (entre 3 et 6 heures) et toutes les remontées des groupes ou des individus étaient notées si possible (Schaffar *et al*, 2009). L'enregistrement des angles avec le théodolite servant à calculer la position, se faisait en positionnant la croix

au centre de l'objectif à la jonction entre le corps de l'animal et l'eau, le plus près possible de l'événement (Martins, C.C.A., commentaire personnel).

L'identité des groupes d'une même vigie a été notée ainsi que les individus, s'il était possible de les distinguer au sein du groupe, par exemple grâce à des marques naturelles distinctes sur le corps ou la queue (Cristiane C. A. Martins, commentaire personnel). Si l'identification individuelle était impossible d'une séquence respiratoire à l'autre, l'identité de l'individu dans une même séquence respiratoire était prise en note. À tout moment, s'il y avait confusion possible entre les groupes, les identifiants étaient réinitialisés et les données à éliminer pour l'analyse notées. La composition d'un groupe (voir Tableau 7) était ajustée et mise à jour tout au long du suivi et devait être confirmée indépendamment par 2 observateurs et idéalement sur 3 séquences respiratoires (Morete *et al*, 2007). Un groupe était noté comme divisé si les individus s'éloignaient les uns des autres de plus de 100 m et/ou qu'apparaissait une désynchronisation dans les remontés. Les deux groupes résultants étaient suivis en parallèle. La fusion de deux groupes est tout simplement le contraire, c'est-à-dire des individus de deux groupes différents synchronisés à moins de 100 m les uns des autres. Cette information était également prise en note et le nouveau groupe formé était suivi comme étant un seul groupe.

Tableau 7 : Composition des groupes en 8 catégories (principalement selon Morete *et al*, 2007)

Codification	Description
SOLO	Individu adulte seule.
DUO	Deux individus adultes.
TRIO	Trois individus adultes.
TRIO+	Plus de trois individus adultes.
MOCA	Une femelle accompagnée de son baleineau.
MOCE	Une femelle accompagnée de son baleineau suivi d'une escorte.
MOCE+	Une femelle accompagnée de son baleineau suivi de plus d'une escorte.
Mâle(s) supposé(s)	Individu(s) adulte(s) présentant un patron régulier de plongée, avec des apnées longues et peu de déplacement entre celles-ci, laissant supposé que le(s) individu(s) chante(nt) sous l'eau.

Les groupes observés une seule fois ou dont la composition était incertaine ont été compilés comme indéterminés quant à la composition (Morete *et al*, 2008). Il y avait possibilité de corriger la composition des groupes si des données d'observation en bateau étaient disponibles. L'Encadré 2 énumère les informations compilées à chacune des remontées.

Encadré 2 : Informations sur les remontées.

- Heure exacte de la remontée à la seconde près (Scheidat *et al*, 2004)
- Comportement (voir les Annexes 3 et 4)
- Identification du groupe et de l'individu (si possible)
- Numéro d'enregistrement d'angles si une mesure au théodolite est prise.
- Composition du groupe : nombre d'adulte(s) et de baleineau(x)
- Caractéristiques physiques individuelles (si possible) (Morete *et al*, 2007; Morete *et al*, 2008)
- Orientation des animaux : 12h = sud
- Présence de bateaux dans un rayon de 0-100m, 100-400m, 400-1000m (Lusseau *et al*, 2009; William *et al*, 2009).

Si une ou plusieurs embarcations effectuaient une approche du groupe pendant une séquence respiratoire, la position, l'heure exacte ainsi que le nom (ou l'identifiant) de l'embarcation étaient notés, sans compromettre la prise de données sur les baleines, lorsque l'embarcation se trouvait à moins de 1 km du groupe (Morete *et al*, 2000, Schaffar *et al*, 2009).

Pendant la première heure de suivi, une attention particulière était portée à identifier, caractériser et positionner tous les groupes présents dans la zone d'étude. Les heures suivantes étaient consacrées au suivi de un ou deux groupes prioritaires (Morete et Bisi, 2006). Cette méthode, nommée suivi focal, est définie par le suivi ininterrompu de toutes les remontées d'un groupe à partir de sa détection jusqu'à sa sortie du champ de vision (Hedley, 2009). L'Encadré 3 présente les règles de décisions pour choisir le ou les groupes focaux.

Encadré 3 : Règles de décision pour le choix des groupes focaux.

- Le plus près possible des observateurs pour augmenter la précision des mesures de position (Morete *et al* 2000; Schaffar *et al* 2009).
- Au centre de la zone d'observation pour assurer un suivi plus long.
- Peu d'individus pour diminuer les biais quant aux individus suivis (préférence pour des groupes d'au plus 2 individus adultes et un baleineau).
- Limiter la confusion, donc pas ou peu d'autres groupes dans le même secteur (Williams *et al*, 2009)
- Évaluation indépendante de la composition du groupe par 2 observateurs (au jumelle et au théodolite) sur au moins 3 séquences respiratoires ou un suivi d'au moins 15 minutes (Williams *et al*, 2002a,b; Williams *et al*, 2009).

La variabilité dans la composition des groupes aidait à prévenir la pseudoréplication et la confusion entre les groupes en distinguant facilement ceux de composition différente (Schaffar *et al*, 2009). Les groupes non-focaux (c'est-à-dire non prioritaires) ont été suivis en parallèle s'ils ne faisaient pas surface en même temps que le ou les groupes focaux et si cela ne compromettait pas le suivi de ces groupes.

2.5 Variables et traitement des données

Un grand nombre de variables a été mesuré et plusieurs autres ont été calculées à partir de ces mesures. Cette section décrit sommairement tous les tableaux de données (Tableau 8) ainsi que les variables principales et leurs méthodes de calcul. Les Annexes 11 et 12 présentent une liste plus exhaustive des variables associées à ces tableaux de données ainsi que leurs méthodes de calcul. Les variables météorologiques sont détaillées suivies de celles qui servent à analyser l'abondance relative (c'est-à-dire associées aux blocs d'observation) ainsi que de celles relatives à l'analyse du comportement, particulièrement aux trajectoires. Le calcul pour déterminer les zones à risque de collision y est également détaillé. Cette section se termine avec une description des programmes utilisés pour le traitement des données.

Tableau 8 : Description sommaire des tableaux de données.

Tableaux de données	Description
Météo	Variables décrivant les conditions météorologiques. Une ligne du tableau représente une évaluation des conditions météorologiques à un moment donné.
Embarcations (nombre)	Variables décrivant le nombre d'embarcation dans la zone d'étude. Une ligne du tableau représente une évaluation du nombre d'embarcation dans la zone à un moment donné.
Vigies	Variables associées à chaque séance continue d'observation (vigie). Une ligne du tableau représente une vigie.
Blocs d'observation	Variables associées à un bloc d'observation d'une heure comprenant entre autre le nombre de groupe et d'individu. Une ligne du tableau représente un bloc d'observation.
Groupes vus une fois	Variables associées aux groupes vus moins de 30 minutes considérés seulement pour la distribution générale. Comprend seulement les coordonnées géographiques, la composition du groupe et le moment de la mesure. Une ligne du tableau représente un groupe.
Groupes sélectionnés	Variables associées au résumé des trajectoires des groupes de baleines sélectionnés (suivis plus de 30 minutes et plus de 3 séquences respiratoires) pour l'analyse des trajectoires. Une ligne du tableau représente un groupe.
Trajectoires (groupes sélectionnés)	Variables associées aux positions des groupes sélectionnés pour l'analyse des trajectoires. Une ligne du tableau représente une remontée choisie d'un groupe sélectionné.
Embarcations (positions)	Variables associées aux embarcations se déplaçant dans la zone d'étude, comprenant les positions et vitesses des embarcations commerciales tout comme les embarcations ayant approchées les groupes sélectionnés. Une ligne du tableau représente les informations sur une embarcation à un moment donné.

A) Indice météo

Les exigences du LaWE demandaient d'inclure dans les données météorologiques 4 indices liés à l'apparence de la mer, soit les indices Beaufort de la mer et du vent (BEAUFmer et BEAUFvent) ainsi que les indices Douglas de la mer du vent et de la houle (DOUGmervent et DOUGhoule) (voir l'Annexe 9 pour les détails). Le Tableau 9 présente la corrélation (*tau* de Kendall) pour ces 4 indices. Considérant que la corrélation entre les indices est très forte, ce qui implique un lien étroit entre ceux-ci et qu'ils sont sur une échelle très similaire allant de 0 à 5, un indice météo combiné (IM) a été calculé représentant la moyenne de ces 4 indices. Cet indice représente les conditions générales de la mer pour l'observation. Par exemple, un IM de 0 représente des conditions

météorologiques calmes, peu de vent, peu de vague et l'absence de houle. À l'inverse, un IM de 4 ou 5 indique un vent fort provoquant des vagues avec présence de moutons ainsi qu'une houle importante. Cet indice représente donc bien tous les indices en une seule variable comme le démontre le Tableau 9.

Tableau 9 : Corrélation (*tau* de Kendall) entre les 4 indices météo (n=311) ainsi que l'indice météo combiné (IM). Toutes les corrélations sont significatives (probabilité < 0,001).

	BEAUFmer	BEAUFvent	DOUGmervent	DOUGhoule
BEAUFmer	-	-	-	-
BEAUFvent	0,46	-	-	-
DOUGmervent	0,65	0,51	-	-
DOUGhoule	0,57	0,47	0,60	-
IM	0,74	0,70	0,75	0,70

B) Blocs d'observations (BO)

Les données d'observation continues ont été converties en blocs d'observations (BO) d'une heure où le nombre d'individus, de groupes et leurs compositions respectives sont compilés sans considérer les données spatiales. Cette conversion comporte certains biais quant au nombre de groupes et à leur composition à partir du moment où le suivi s'attarde sur les groupes prioritaires. Certaines variables environnementales (l'indice météo (IM) et la visibilité) et anthropiques (indice du nombre d'embarcation (INE)) ont été interpolées pour être associées à chaque bloc d'observation afin d'analyser les facteurs pouvant influencer l'abondance grâce à des modèles statistiques. Des variables temporelles, soit l'année, le jour de l'année et l'heure centrale du BO sont également associées à chaque BO.

C) Variables liées aux trajectoires

Le comportement a été considéré comme la composante horizontale du déplacement des groupes, c'est-à-dire sa trajectoire, et non pas comme l'action de l'animal en surface (voir l'éthogramme de l'espèce à l'Annexe 4). Cette section décrit les variables associées aux trajectoires.

i) Vitesse de déplacement

La vitesse moyenne des déplacements se calcule en divisant la distance par le temps que met la baleine pour la parcourir (Williams *et al*, 2002a; Williams *et al*, 2002b; Morete et Bisi, 2006; Scheidat *et al*, 2004; Schaffar *et al*, 2009). Les données conservées pour cette analyse sont celles des groupes sélectionnés (suivis plus de 30 minutes et plus de 3 séquences respiratoires). La vitesse nette orientée a également été considérée, c'est-à-dire la vitesse pour parcourir la distance entre la première et la dernière remontée couplée à l'orientation entre ces deux positions.

ii) Indices de trajectoire (IT)

Plusieurs variables peuvent servir à décrire la trajectoire d'un groupe sélectionné. Ces variables peuvent résumer la trajectoire du groupe ou être associées à une remontée. La Figure 11 donne un exemple de trajectoire et des calculs nécessaires pour obtenir ces variables. Pour chacune des remontées d'un groupe sélectionné, la position et le moment exact ont été mesurés sur le terrain. Le tableau de données « Groupes sélectionnés » comprend les variables relatives au résumé de la trajectoire, soit la vitesse moyenne de déplacement (Vit), l'orientation du groupe (Orient), la vitesse orientée (VitOrient), l'indice de linéarité (IL), l'indice de réorientation (IR), taux de réorientation (TR), l'indice de variation de vitesse (IVV) et le taux de variation de vitesse (TVV). Les indices font référence à la variation moyenne de ces variables entre 2 remontées consécutives et les taux représentent un changement horaire de la variable considérée. **L'indice de linéarité (IL)** est le ratio entre la distance la plus courte entre la première et la dernière remontée par rapport à la distance parcourue lors des remontées successives (Morete et Bisi, 2006; Schaffar *et al*, 2009; Williams *et al*, 2002a; Williams *et al*, 2002b; Scheidat *et al*, 2004). Il se situe entre 0 (indiquant un retour au point de départ) et 1 (représentant une trajectoire en ligne droite). **L'indice de réorientation (IR)** indique le changement d'angle moyen entre chacune des remontées (Williams *et al*, 2002a; Williams *et al*, 2002b). Un IR élevé représente une trajectoire erratique.

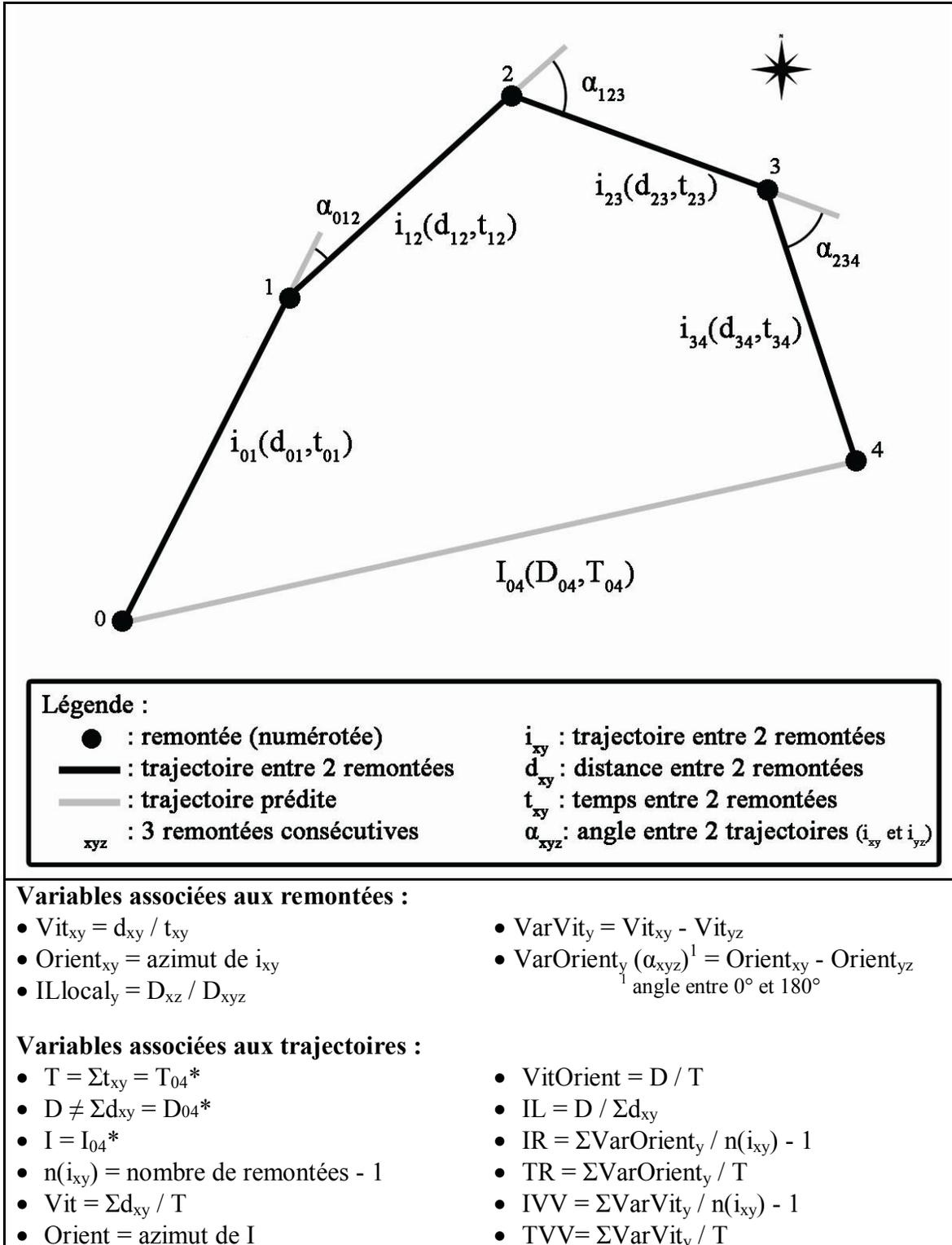


Figure 11 : Variables associées aux remontées et aux trajectoires des baleines. Inspirée et adaptée de Williams *et al*, 2002b. * pour cette exemple.

Le taux de réorientation (TR) se calcule en additionnant l'angle entre chacune des trajectoires et en le divisant par le temps pris pour parcourir cette distance (Schaffar *et al*, 2009; Morete et Bisi, 2006). **La variation de vitesse** est calculée en sommant les différences de vitesse entre 2 trajectoires consécutives et en divisant soit par le nombre de trajectoires moins 1 (IVV) ou par la durée totale du suivi (TVV). Ces variables donnent une indication de la constance du groupe par rapport à sa vitesse de déplacement. Certaines variables sont associées à chacune des remontées, bien que certaines d'entre elles s'appliquent plutôt à la trajectoire (i_{xy}) entre 2 remontées consécutives. Seules les variables de temps et de position sont associées à la remontée initiale (numéroté « 0 » dans l'exemple de la Figure 11) et certaines variables ne sont pas disponibles pour la dernière remontée (numéroté « 4 » dans l'exemple). **La vitesse (Vit_{xy}) et l'orientation ($Orient_{xy}$)** de chacune des trajectoires ont été calculées. **La variation de vitesse ($VarVit_y$) et d'orientation ($VarOrient_y$)** ont également été calculées comme la valeur absolue de la différence de ces variables entre 2 trajectoires consécutives. Un **indice de linéarité local ($ILlocal_y$)** a également été calculé de la même manière que l'indice de linéarité global (IL), mais en considérant seulement 3 remontées consécutives. Toutes ces variables quantifient localement le comportement du groupe, c'est-à-dire au niveau de la remontée.

iii) Classes d'approche

Dans le but de regrouper le comportement lié aux trajectoires en fonction de la présence ou non d'embarcations autour du groupe de baleine, une classe d'approche, c'est-à-dire une variable qualitative ordonnée chronologiquement, a été attribuée à chaque remontée des groupes ayant été approchés à un moment ou à un autre par une embarcation. Cette variable sert soit à décrire qualitativement les différences de comportement liées aux trajectoires entre les différentes classes d'approche ou pour décrire quantitativement les différences de comportement en l'intégrant à des modèles statistiques. Celle-ci prend trois valeurs, soit avant (B) qu'une embarcation approche (*Before*), pendant (D) qu'une ou plusieurs embarcations approchent le groupe de baleines à une certaine distance (*During*) et après (A) que les embarcations quittent cette zone d'observation (*After*) (Williams *et al*, 2009; Williams *et al*, 2002b; Schaffar *et al* 2009, Scheidat *et al* 2004). Ces classes ont été déterminées pour une distance d'approche de 400 m et 1000 m. Cette

classification permet de regrouper les données liées à la trajectoire (par exemple les indices de trajectoire, voir la section du même nom) selon la chronologie de l'approche par une embarcation et d'évaluer s'il y a modification du comportement durant l'approche et si le comportement retourne à la normale après le départ de l'embarcation. Les données à conserver pour une analyse quantitative doivent comprendre suffisamment d'information pour au moins deux classes d'approche, idéalement les trois, c'est-à-dire un suivi de trajectoire pendant au moins 20 minutes et 3 séquences respiratoires par classe (Schaffar *et al* 2009; Scheidat *et al* 2004; Williams *et al*, 2002b). De plus, toutes les séquences respiratoires doivent être notées. Il est très difficile d'obtenir en nombre suffisant les informations nécessaires à une analyse significative de l'impact de l'approche d'embarcation sur le comportement. Effectivement, ces données sont obtenues de manière opportuniste et il est très rare d'en obtenir suffisamment pour permettre cette analyse. Néanmoins, cette variable a été attribuée en considérant que des données supplémentaires seront peut-être disponibles ultérieurement.

D) Risque de collision

Plusieurs études ont recensé les collisions connues entre divers types d'embarcation et plusieurs espèces de cétacés (par exemple : Ritter, 2009; Jensen et Silber, 2003; Laist, 2001). Vanderlaan et Taggart (2007) ont ensuite évalué le risque de collision mortelle en fonction de la vitesse des embarcations (voir la Figure 9). La méthode générale pour attester spatialement du risque de collision consiste d'abord à déterminer la distribution spatiale de l'espèce considérée, c'est-à-dire la densité. La densité du trafic maritime dans la zone d'étude est ensuite déterminée. La dernière étape consiste à superposer ces deux distributions afin de déterminer les zones de plus fort chevauchement, c'est-à-dire les plus à risque de collision (par exemple : Williams et O'Hara, 2010; Chion *et al*, 2012; Evans *et al*, 2011; David *et al*, 2011). Il est également possible de pondérer le risque de collision en fonction de la vitesse des embarcations en utilisant les résultats de Vanderlaan et Taggart (2007).

E) Traitement des données

Les données inscrites sur les fiches de notes ont été compilées sous forme de tableur à l'aide du logiciel Microsoft Excel[®]. Ces tableaux ont été exportés en format .txt ou .csv et modifiés si nécessaire à l'aide du logiciel Notepad++[®] afin d'être importés dans le logiciel de système d'information géographique (SIG) et d'analyse statistique. La conversion des angles du théodolite en positions géographiques et les indices de trajectoires ont nécessité le logiciel VADAR[®] (anciennement CYCLOPS (Kniest et Paton, 2001)). D'autres programmes ayant des fonctionnalités similaires sont également disponibles comme THEOPROG (Williams *et al*, 2002b) et PYTHAGORAS (Gailey et Ortega, 2000). L'analyse statistique et certains traitements des données ont été effectués à l'aide du logiciel R (R Development Core Team, 2005). Quantum GIS[®] a été utilisé pour certaines analyses spatiales et pour produire les cartes présentées dans ce mémoire. SAGA[®] a été utilisé pour faire le krigeage.

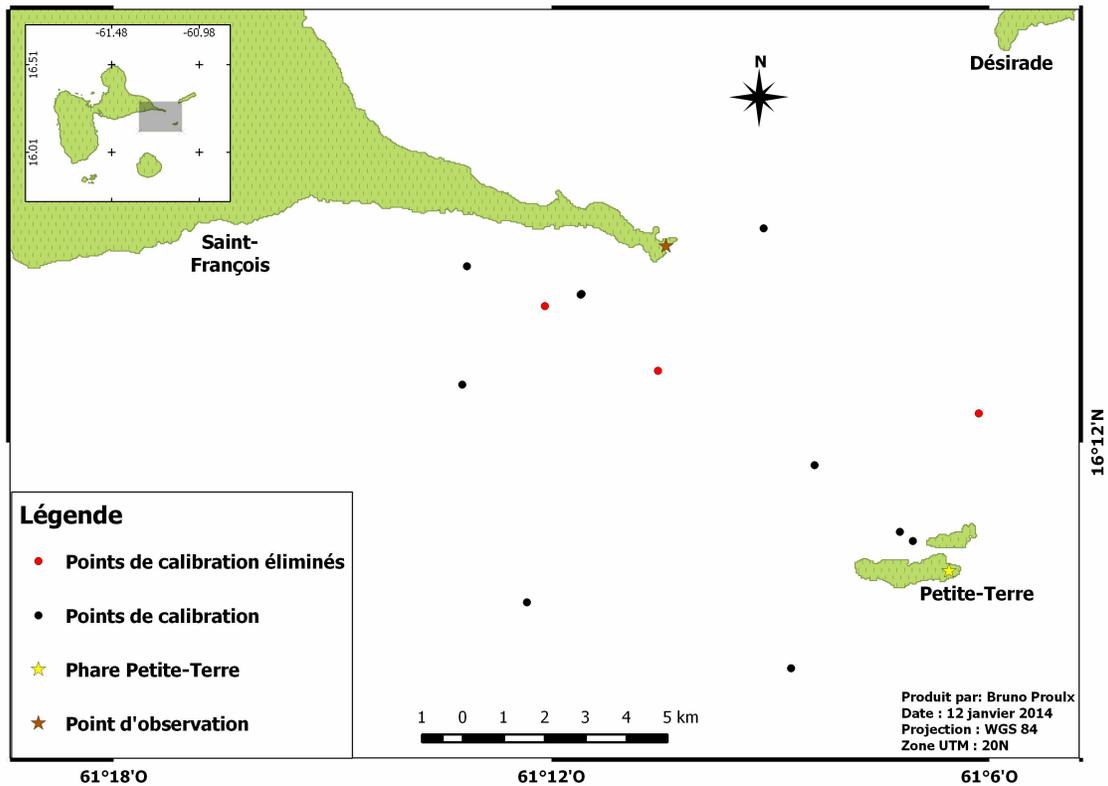
2.6 Calibration, incertitudes et qualité des données

A) Hauteur du point d'observation

La hauteur du point d'observation (PO) doit être connue avec précision afin de déterminer la distance du point d'observation (DPO) lors du calcul de position à partir des mesures d'angles verticaux prises avec le théodolite (voir la Figure 10). Cette hauteur a été ajustée pour chaque mesure de position en fonction du marnage auquel on ajoute la hauteur de l'observateur (1,65 m). La hauteur connue et fournie par un géomètre-expert est de 40,89 m au dessus du zéro altimétrique légal. Cette hauteur a été calibrée de manière empirique et la méthode est décrite dans ce paragraphe. L'angle vertical mesuré grâce au théodolite sert à calculer la DPO en fonction de la hauteur calibrée. La calibration de la hauteur a été rendue possible en utilisant 13 mesures de position prises à l'aide d'un GPS (Garmin 152H, incertitude = ± 15 m) à bord d'une embarcation sur l'eau dont une mesure d'angle au théodolite a été enregistrée simultanément pour fin de comparaison. La Carte 4 présente l'emplacement de ces positions. Ces positions ont toutes été prises en 2013 lors de 6 sorties différentes avec la même embarcation (les 9, 16, 23 et 29 mars et les 11 et 26 avril). Trois positions prises au GPS ont été éliminées en raison d'une estimation de la DPO toujours à la hausse ou à la baisse, dû probablement à

une erreur de mesure du GPS ou du théodolite, laissant 10 positions pour le calcul de calibration. Cette méthode de calibration a été détaillée par Frankel *et al* (2009), seule la représentation des résultats diffère.

Les DPO des 10 points GPS ont été calculées et sont considérées comme les valeurs « réelles » bien qu'il existe une incertitude sur cette position due à la précision du GPS (± 15 m). Cette incertitude n'a pas été considérée. Ces mesures ont ensuite été comparées à deux méthodes de calcul de la DPO, soit à l'aide du logiciel VADAR (Kniest et Paton, 2001) et à l'aide du calcul de Lerczak et Hobbs (1998). La première méthode est intégrée au logiciel VADAR, la deuxième méthode calcule l'arc du rayon terrestre correspondant à l'angle vertical mesuré. Pour les deux méthodes de calcul, la DPO était sous-estimée en moyenne en utilisant une hauteur de 40,89 m, ce qui pourrait indiquer une sous-estimation de la hauteur du PO. Dans l'optique de valider ce fait, les calculs ont été répétés avec différentes hauteurs potentielles (par bond de 10 cm) jusqu'à 41,89 m.



Carte 4 : Positions prises au GPS (Garmin 152H, n=13, deux points sont superposés) utilisées pour la calibration de la hauteur du point d'observation (PO).

La figure 12 montre la différence entre les DPO calculées par les deux méthodes et celles « réelles » pour les différentes hauteurs potentielles. Dans le cas où la hauteur du PO aurait été sous-estimée, on devrait s'attendre à sous-estimer en moyenne la DPO sous la hauteur réelle et à la surestimer au-dessus de la hauteur réelle, et ce, peu importe la distance de l'observation. La méthode de Lerczak et Hobbs (1998) semble indiquer que la hauteur réelle est proche de 41,29 m, en sous-estimant en moyenne la DPO en deçà de cette hauteur et en la surestimant au-delà, et ce, peu importe la DPO. Cette hauteur a donc été choisie pour calculer la position des observations en indiquant au logiciel VADAR (Kniest et Paton, 2001) cette distance calculée plutôt que l'angle vertical. En poursuivant les recherches afin de découvrir la source de cette différence entre la valeur de hauteur fournie par le géomètre et la hauteur calibrée, il se trouve que le zéro altimétrique légal se situe à 0,482 m au-dessus du zéro hydrographique dans le secteur de Saint-François (SHOM, 2013). En ajoutant cette valeur à la hauteur initiale, la hauteur réelle est de 41,37 m, soit 0,08 m au-dessus de la valeur de hauteur trouvée par calibration, soit une différence de 0,2%. La hauteur calibrée de 41,29 m a été conservée comme hauteur réelle.

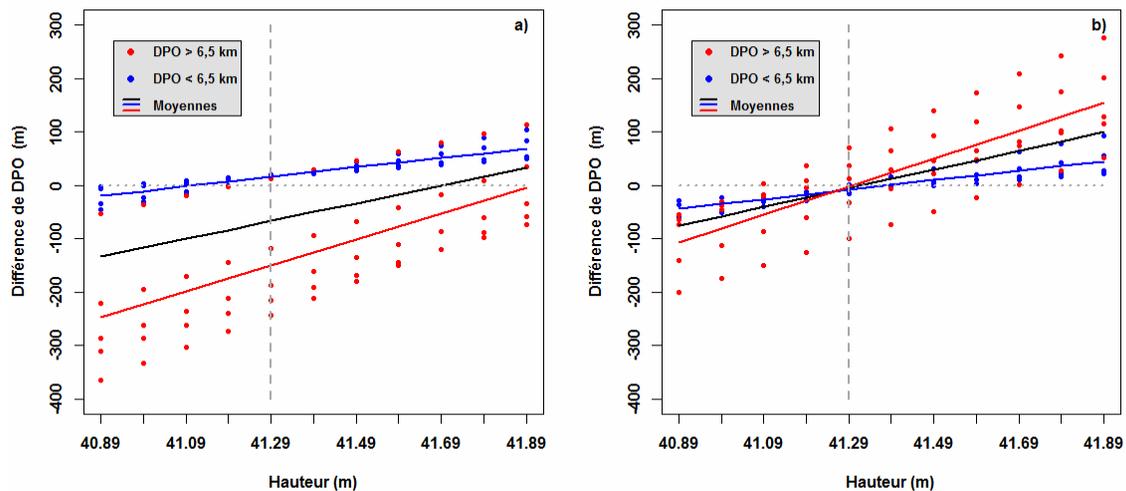


Figure 12 : Différence (en mètre) entre la DPO réelle et la DPO calculée par le logiciel VADAR (a) et par la formule de Lerczak et Hobbs (1998) (b) pour différentes hauteurs potentielles (ajustées en fonction du marnage et de la hauteur de l'observateur) pour 10 positions prises au GPS (voir la Carte 4).

B) Incertitude sur la position

L'incertitude sur la position varie en fonction de la distance de l'observation et est liée à plusieurs facteurs dont l'expérience de l'opérateur du théodolite, la condition de la mer et du temps disponible pour prendre la mesure. Théoriquement et à titre indicatif, Würsig *et al* (1991) ont évalué qu'à 5 km du point d'observation, l'incertitude sur une position mesurée au théodolite serait de moins de 12 m en considérant une incertitude réaliste de 10 cm sur la mesure de la hauteur de l'observateur. L'incertitude sur la DPO a été estimée à partir des données présentées dans la Figure 12(b) pour une hauteur de 41,29 m. La moyenne du pourcentage d'incertitude (rapport entre la valeur absolue de la différence de DPO sur la DPO « réelle ») pour les 10 mesures est de 0,40% (IC : $\pm 0,18\%$, à 95%). À moins de 6,5 km (5 mesures) l'incertitude est de 0,28% (IC : $\pm 0,16\%$, à 95%) et à plus de 6,5 km (5 mesures) l'incertitude est de 0,53% (IC : $\pm 0,31\%$, à 95%), ce qui représente une incertitude sur la DPO entre 3 et 5 m par kilomètre du PO. Il faut garder en tête que les mesures prises en conditions réelles sur des baleines sont plus rapides et moins précises. Par contre, il est impossible d'en estimer la précision car la position réelle des baleines ne peut être connue avec précision. L'incertitude réelle sur la DPO des remontées représente probablement 2 à 3 fois la valeur d'incertitude mesurée pour la calibration, correspondant à 10 à 15 mètres d'incertitude par kilomètre du point d'observation. Cette incertitude est liée à la mesure de l'angle vertical. L'incertitude sur la mesure de l'angle horizontal n'a pas été estimée, mais peut être considérée comme du même ordre de grandeur. La majorité des remontées servant à décrire les trajectoires se trouvent à moins de 6,5 km du point d'observation (voir la Figure 19), ce qui représenterait une incertitude sur la position à cette distance correspondant à 4 ou 6 fois la longueur de l'animal. Cette incertitude aura une incidence sur l'étude des mouvements, particulièrement lorsque l'on considère la distance parcourue, les indices de trajectoires (IT) ainsi que la vitesse. Certaines mesures peuvent être prises pour en diminuer l'effet sur ces variables, comme par exemple en limitant l'analyse aux observations proches du PO. D'autres mesures sont également détaillées à la fin de la section suivante portant sur l'incertitude sur la vitesse.

C) Incertitude sur la vitesse

L'incertitude sur la vitesse des animaux dépend de deux facteurs : d'abord de l'incertitude sur la distance parcourue qui est fonction de l'incertitude sur la position (détails au paragraphe précédent) et finalement de la précision sur le moment de la prise de mesure. Würsig *et al* (1991) évaluent l'incertitude sur une vitesse calculée en ne considérant que l'incertitude sur la position à 2,3% à 5 km du point d'observation. L'incertitude sur la distance parcourue étant difficile à estimer, l'incertitude sur le temps entre les mesures est estimée. Le Tableau 10 présente le pourcentage d'incertitude théorique sur la vitesse en fonction d'une incertitude sur le moment de la remontée de ± 1 seconde pour chacune des deux remontées nécessaires au calcul de vitesse entre deux positions. Cette incertitude provient de la capacité du preneur de note à noter à la seconde près le moment de la remontée. Le pourcentage d'incertitude sur la vitesse ne dépend ni de la vitesse ni de la distance parcourue.

Tableau 10 : Pourcentage d'incertitude théorique sur la vitesse considérant une incertitude de ± 2 secondes sur la mesure du temps entre deux positions.

Temps entre les mesures de position		Incertitude sur le temps (%)	Incertitude sur la vitesse (%)
secondes	minutes		
60	1	3,4	6,7
120	2	1,7	3,3
180	3	1,1	2,2
240	4	0,8	1,7
300	5	0,7	1,3
360	6	0,6	1,1

Afin de limiter l'incertitude sur la vitesse, les remontées choisies pour l'étude des trajectoires des groupes sélectionnés étaient séparées par un intervalle de temps d'au moins 5 minutes dans la plupart des cas. De plus, les remontées choisies étaient généralement en fin de séquence respiratoire afin de limiter le biais sur la position. Effectivement, la dernière mesure de position d'une séquence respiratoire est généralement précédée de plusieurs mesures de positions donnant l'opportunité à l'opérateur du théodolite de bien positionner l'appareil sur le groupe limitant ainsi le biais sur la position.

D) Incertitude sur la détection

La détectabilité des mammifères marins dépend d'une multitude de facteurs dont principalement la distance de l'observation (DPO), mais est également fonction de l'espèce, du nombre d'individus dans les groupes, des conditions météorologiques et maritimes, de l'expérience des observateurs, de la hauteur de ceux-ci et des instruments utilisés (Buckland *et al*, 1993). Les groupes ne peuvent être tous observés et l'abondance sera alors sous-estimée (Hedley *et al*, 2009). Le calcul de la fonction de détectabilité ($g_{(r)}$ dans Buckland *et al* (1993)) n'est pas simple. Celle-ci sera maintenant nommée $g_{(DPO)}$, c'est-à-dire la fonction de détectabilité selon la distance du point d'observation. Cette fonction a été détaillée surtout pour un domaine d'étude qu'on nomme le *Distance sampling* (Buckland *et al*, 1993). Cette technique d'échantillonnage se divise en deux méthodes distinctes : le transect de ligne (*line transect*) et l'échantillonnage par point (*point sampling*) (Buckland *et al*, 1993). Le suivi terrestre trouve certaines similitudes avec ce dernier. Par contre, les suppositions de base du *Distance sampling* ne s'appliquent pas toutes au suivi terrestre. Cette méthode suppose que (Buckland *et al*, 1993):

1. Les objets de l'étude sont distribués selon une certaine densité.
2. Les lignes ou les points d'échantillonnage sont distribués aléatoirement.
3. La détectabilité à distance zéro ($g_{(0)}$) est égale à 1 ou est connue.
4. Les objets ne sont pas influencés par l'observateur et détectés à leur position initiale (c'est-à-dire avant d'être influencé par l'observateur).
5. La position de l'objet est déterminée correctement (c'est-à-dire sans biais ni incertitude).

Il paraît évident que les suppositions 2 et 3 ne sont pas respectées dans le cas du suivi terrestre. De plus, l'échantillonnage par point implique une multitude de points d'observation, ce qui n'est pas le cas de la présente étude.

Deux types de biais peuvent être identifiés pour le suivi des mammifères marins, le biais de disponibilité et le biais de détectabilité (Marsh et Sinclair, 1989). Le premier fait

référence à la non disponibilité des animaux à être vus, car ils se trouvent sous la surface. Cela affecte particulièrement la détectabilité à distance « zéro » ($g_{(0)}$). Ce biais est d'autant plus important si on est en présence d'une espèce plongeant pour une longue période et si la vitesse des observateurs est grande, par exemple en bateau ou en avion (Buckland *et al*, 1993). Dans notre cas, ce biais est limité par l'immobilité des observateurs et la durée des vigies (plus de 3 heures en moyenne) qui dépasse largement le temps de plongée des animaux (rarement supérieur à 20 minutes). Le biais de détectabilité fait référence au fait qu'un groupe se trouve à distance de vue et qu'il n'est pas noté par les observateurs. Cela peut être dû à un manque d'expérience des observateurs, à des conditions d'observation non optimales et finalement il y a toujours une proportion des observations qui sont manquées peu importe la qualité des observateurs et des conditions météo. Ce biais peut généralement être évalué dans le cas du *distance sampling*. Buckland *et al* (1993) fournissent les bases théoriques relatives à cette technique. Une fonction de détectabilité est alors calculée (voir l'exemple à la Figure 13 tirée de Buckland *et al* (1993)).

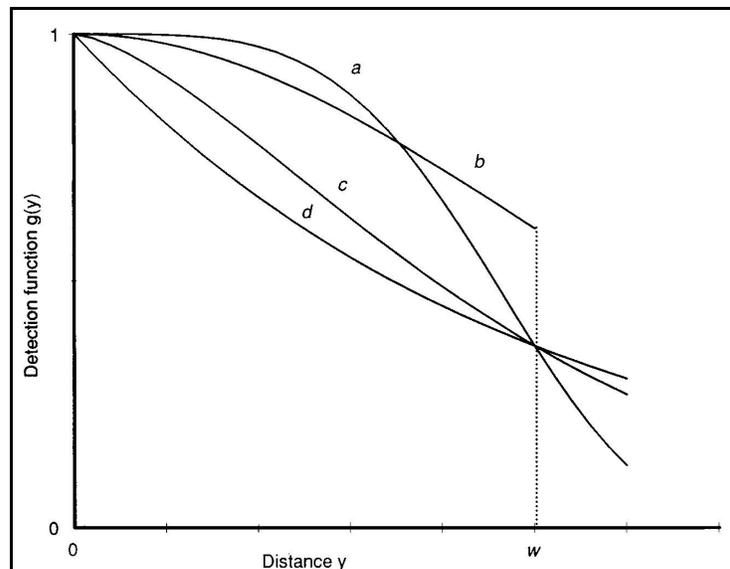


Figure 13 : Formes générales (a à d) d'une fonction de détectabilité (figure tirée de Buckland *et al* (1993), p.10). En ordonnée : la fonction de détectabilité ($g_{(DPO)}$). En abscisse : la DPO. w correspond à $D_{\text{tronquée}}$.

Cette fonction est décomposée en différentes parties, par exemple, $g_{(0)}$ indique la probabilité de détection à distance zéro de l'observateur (D_0). Celle-ci est généralement

assumée égale à 1 dans le cas d'un protocole bien monté ou doit être estimée précisément si elle diffère de 1 (pour attester du biais de disponibilité par exemple). On tronque habituellement la distance pour laquelle on calcule cette fonction en classant les observations par classe de distance et en éliminant de 5 à 10% des observations les plus éloignées de l'observateur (Buckland *et al* (1993) qualifient cette règle de *rule of thumb*) pour obtenir la distance tronquée ($D_{\text{tronquée}}$). Cet exercice a été entrepris avec les données de la présente étude et est présenté à la Figure 19 de la section 3.2. On calcule ensuite la détectabilité entre D_0 jusqu'à $D_{\text{tronquée}}$. Finalement, la forme de la courbe entre D_0 et $D_{\text{tronquée}}$ comporte habituellement une « épaulement » (*shoulder*) où la détectabilité est relativement bonne lorsqu'on s'éloigne légèrement de l'observateur avant de diminuer rapidement jusqu'à $D_{\text{tronquée}}$ (Buckland *et al*, 1993).

Dans le cas du suivi terrestre présenté dans ce mémoire, la forme de la courbe de détectabilité doit ressembler à celle présentée pour le *Distance sampling*. Par contre, les bases théoriques à son calcul sont moins abondantes et nécessitent un protocole particulier qui n'a pas été entrepris pour cette étude. Deux méthodes ont été recensées dans la littérature pour des suivis terrestres continus sur point d'observation fixe. La première implique de combiner deux sources de données obtenues simultanément, soit des transects de ligne aériens ou maritimes (par exemple Hedley *et al*, 2009) ou en coordonnant deux sites d'observation rapprochés (*double platform*) sans contact l'un avec l'autre afin de compiler les observations vues par les deux plateformes d'observation et celles manquées par l'une ou l'autre (Borchers *et al*, 1998; Zeh, 1999). Il s'agit d'une forme modifiée de capture-marquage-recapture. Ces dernières méthodes n'ont pu être appliquées, premièrement car les conditions maritimes étaient trop mauvaises lors des campagnes de transects de ligne en Guadeloupe en 2012 et 2013 (voir Gandilhon, 2012) pour faire simultanément le suivi terrestre, et deuxièmement, par manque d'effectif pour faire l'observation depuis deux plateformes. La deuxième méthode implique de combiner $g_{\text{(DPO)}}$ avec une probabilité de densité. Cette méthode a été utilisée par Arranz *et al* (2013) pour des baleines à bec en corrélant la probabilité de densité avec la profondeur. Il faut savoir que des connaissances existent quant à la préférence de profondeur pour ces espèces et que la zone d'étude présentait un fort

dénivelé bathymétrique. Notre zone d'étude ne présente pas suffisamment de dénivelé quant à la profondeur (voir la Carte 3) pour utiliser cette méthode. Au regard de ces informations, il est donc impossible d'évaluer la fonction de détectabilité en considérant les données disponibles.

E) Évaluation et contrôle de la qualité des données

Un protocole d'évaluation et de contrôle de la qualité des données a été mis en place selon les recommandations du LaWE (Senigaglia, 2011b,c,d,e,f). Par contre, les contraintes de personnel n'ont pas permis d'atteindre tous les critères. La qualité de l'équipe d'observation dépend de l'expérience des observateurs et celle-ci était quasi inexistante pour la plupart des bénévoles avant d'entreprendre ce suivi. Par contre, l'opérateur du théodolite, soit le chercheur principal (présent à toutes les vigies), ainsi que les deux assistants de terrain principaux, Manuela Voisine et Loïc Renia, cumulent plusieurs centaines d'heure d'observation des cétacés, autant en Guadeloupe qu'au Canada. Heureusement, il n'y a pas de confusion possible sur l'espèce, car la baleine à bosse est pratiquement le seul grand cétacé fréquentant cette zone (Gandilhon, 2012).

La calibration de l'appareil, c'est-à-dire remise à niveau et réévaluation de l'angle horizontal zéro, a été effectuée toutes les heures et les sessions d'observation ne dépassaient pas 6 heures (Senigaglia, 2011b). Bien que les protocoles du LaWE (Senigaglia, 2011b,f) suggèrent qu'il y ait au minimum 3 observateurs et qu'une rotation des tâches (c'est-à-dire opérateur de théodolite, preneur de note et observateur aux jumelles) s'effectuent toutes les heures, ces conditions n'ont pu être remplies en raison de l'équipe réduite et de la formation limitée de celle-ci.

Il est possible d'identifier un même groupe comme deux distincts (deux identifiants), ou bien d'identifier deux groupes comme un seul (un identifiant), ce que l'on nommera pseudoréplication. Dans l'optique de limiter ce biais, une réinitialisation de l'identifiant des groupes a été effectuée si un doute persistait sur leur identité.

CHAPITRE 3 : RÉSULTATS ET ANALYSE

Cette section présente les résultats et l'analyse appliquée aux données récoltées en débutant par l'effort d'échantillonnage. Les résultats et l'analyse sont présentés selon les deux objectifs principaux, soit l'utilisation de l'habitat et les pressions anthropiques, puis en sous-sections représentant les objectifs spécifiques (voir la Figure 8).

3.1 Effort d'échantillonnage

Le Tableau 11 présente l'effort d'échantillonnage pour les deux années de suivi (2012-2013). Un total de 91 vigies, principalement en avant-midi, ont permis de cumuler plus de 306 heures d'observation. Ces heures d'observation ont été divisées en 257 blocs d'observation (BO) d'une heure afin de déterminer l'abondance relative et la composition des groupes de cette population. Le nombre de groupes et d'individus n'ont pas été comptabilisés pour 10 BO (les 11, 12, et 24 avril 2013), car il y avait trop de groupes dans la zone d'étude pour en évaluer le nombre précisément et ils ont été éliminés afin d'éviter les biais.

Dans le but de clarifier la terminologie, le terme « groupes sélectionnés » désignera les 107 groupes dont le suivi durait plus de 30 minutes et dont la plupart des remontées ont été enregistrées (voir le Tableau 12 pour les détails sur ces groupes). Une sélection des remontées a été faite, entre autres pour limiter les biais quant à la vitesse de déplacement (voir la section 2.6 pour l'incertitude sur la vitesse). À moins d'indication contraire, le terme « remontée » fera référence aux remontées sélectionnées. C'est à partir de ces remontées que l'analyse des trajectoires est faite. Celles-ci totalisent près de 139 heures et près de 700 remontées sélectionnées. Le Tableau 12 présente les détails sur le suivi de ces groupes. Certains (n=143) n'ont pas été suivis suffisamment longtemps (moins de trente minutes) pour être inclus dans l'analyse des trajectoires, par contre, une position par groupe a été sélectionnée afin de l'utiliser pour la distribution générale. Ces groupes seront désignés comme « groupes vus une fois » même si certains d'entre eux ont pu être suivis sur plusieurs remontées et parfois pendant 2 séquences respiratoires.

Une sélection de 6 groupes (Tableau 13) suivis avant, pendant et après l'approche d'une ou plusieurs embarcations (voir sections 2.1 et 2.5) fait l'objet d'une analyse qualitative dans ce mémoire. À ce niveau et comme mentionné précédemment, le faible effectif ne provient pas d'une méthodologie déficiente, mais bien du fait que les conditions d'acquisition de ces données sont rarement rencontrées. Une analyse statistique plus poussée de l'impact de l'approche des embarcations sur le comportement sera possible avec un effectif plus grand, par exemple suite aux saisons d'acquisition de données de 2014-2015. Les Figures 25 et 26 présentent ces groupes parmi les autres groupes ayant été approchés.

Tableau 11 : Effort d'échantillonnage (2012-2013) pour : les vigies, les évaluations de la météo et du nombre d'embarcations dans la zone d'étude et les blocs d'observation d'une heure. En italique : \pm l'écart type ou entre parenthèses le pourcentage du total par section par colonne (en gras).

		2012		2013		2012-2013		
Vigies	Nombre	Météo favorable	35	<i>(64,8)</i>	24	<i>(64,8)</i>	59	<i>(64,8)</i>
		Météo incertaine	12	<i>(22,2)</i>	12	<i>(32,4)</i>	24	<i>(26,4)</i>
		Météo défavorable	7	<i>(13,0)</i>	1	<i>(2,7)</i>	8	<i>(8,8)</i>
		Avant-midi	36	<i>(66,7)</i>	28	<i>(75,7)</i>	64	<i>(70,3)</i>
		Après-midi	18	<i>(33,3)</i>	9	<i>(24,3)</i>	27	<i>(29,7)</i>
	Total	54	<i>(100,0)</i>	37	<i>(100,0)</i>	91	<i>(100,0)</i>	
Durée (heure)	Moyenne	3,37	$\pm 1,04$	3,37	$\pm 0,99$	3,37	$\pm 1,01$	
	Totale	181,7		124,8		306,5		
Observateurs/vigie		2,48	$\pm 0,67$	3,35	$\pm 1,11$	2,84	$\pm 0,97$	
Météo (nombre d'évaluations)	Moyenne/vigie	3,7	$\pm 1,2$	3,0	$\pm 0,9$	3,4	$\pm 1,1$	
	Total	199		112		311		
Embarcations (nombre d'évaluations)	Moyen/vigie	6,3	$\pm 2,4$	6,5	$\pm 2,7$	6,3	$\pm 2,5$	
	Total	338		239		577		
Blocs d'observation	Moyenne/vigie	3,0	$\pm 1,1$	2,6	$\pm 1,1$	2,8	$\pm 1,1$	
	Avant-midi	111	<i>(69,4)</i>	84	<i>(86,6)</i>	195	<i>(75,9)</i>	
	Après-midi	49	<i>(30,6)</i>	13	<i>(13,4)</i>	62	<i>(24,1)</i>	
	Total	160	<i>(100,0)</i>	97	<i>(100,0)</i>	257	<i>(100,0)</i>	

Tableau 12 : Sommaire des 107 groupes sélectionnés en 2012-2013 (suivis plus de 30 minutes) pour l'étude des trajectoires. En italique : \pm écart type ou entre parenthèses le pourcentage du total par section par colonne (en gras). Compo. correspond à la composition du groupe décrite au Tableau 7.

		2012	2013	2012-2013	
Durée (heure)	Moyenne/groupe	1,16 $\pm 0,88$	1,52 $\pm 0,84$	1,29 $\pm 0,88$	
	Totale	79,9	57,9	137,8	
Nombre de remontées	Moyenne/groupe	5,7 $\pm 3,5$	8,1 $\pm 4,4$	6,5 $\pm 4,0$	
	Total	390	309	699	
Nombre de groupes	Durée	<60 min	37 (53,6)	10 (26,3)	47 (43,9)
		60-120 min	24 (34,8)	18 (47,4)	42 (39,3)
		>120 min	8 (11,6)	10 (26,3)	18 (16,8)
	Moment	Avant-midi	39 (56,5)	29 (76,3)	68 (63,6)
		Après-midi	30 (43,5)	9 (23,7)	39 (36,4)
	Approche	< 400 m	16 (23,2)	18 (47,4)	34 (31,8)
		< 1000 m	21 (30,4)	20 (52,6)	41 (38,3)
	Compo.	MOCA et MOCE	15 (21,7)	13 (34,2)	28 (26,2)
		Mâles supposés	9 (13,0)	2 (5,3)	11 (10,3)
	Total		69 (100,0)	38 (100,0)	107 (100,0)

Tableau 13 : Résumé de l'effectif disponible en 2012-2013 des groupes sélectionnés pour l'analyse de l'impact de l'approche des embarcations sur le comportement (c'est-à-dire les indices de trajectoires (IT)) et ce avant, pendant et après l'approche. L'identifiant du groupe (ID), sa composition (Compo., voir le Tableau 7), la durée pour les différentes catégories ainsi que le nombre de remontées (Rem.) sont indiqués.

ID	Compo.	Durée totale (minutes)	Avant		Pendant		Après	
			Durée (min)	Rem.	Durée (min)	Rem.	Durée (min)	Rem.
18	TRIO	57	17,6	3	13,3	4	17,6	3
44	DUO	124	57,3	5	4,0	2	62,5	6
63	DUO	181	66,7	4	44,5	4	70,0	4
85	DUO	155	98,3	11	10,6	3	46,2	5
101	DUO	66	23,6	4	14,8	4	28,0	4
107	SOLO	196	114,2	6	24,7	3	57,4	3
Total		779	377,7	33	111,9	20	281,7	25

L'indice météo (IM) ainsi que la visibilité sont de bons indicateurs des conditions d'observation. La Figure 14 présente la distribution de ces variables lors de l'évaluation de la météo. L'échantillonnage a été effectué lorsque les conditions météorologiques étaient bonnes et il est possible de le constater en considérant l'indice météo (IM) généralement entre 1 et 2 et une visibilité supérieure à 85% dans la plupart des cas.

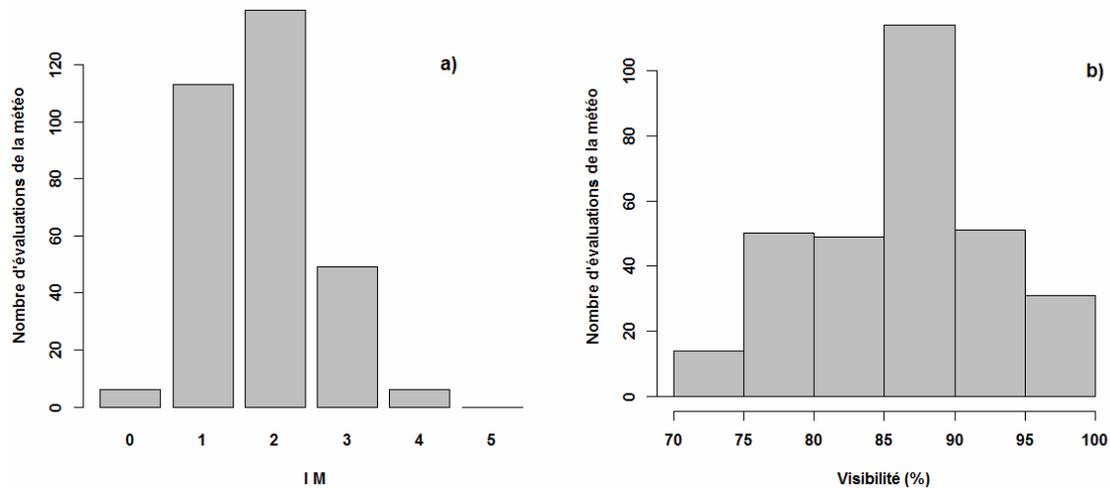


Figure 14 : Histogramme du nombre d'évaluations des conditions météo (n=310) en 2012-2013 selon l'indice météo (IM) (a) et la visibilité (b).

Les trajectoires des embarcations commerciales ont été mesurées durant les vigies où plusieurs positions des embarcations ont été mesurées à l'aide du théodolite. L'échantillonnage n'était pas régulier en raison de l'objectif principal porté aux suivis des baleines. La majorité des trajectoires a été obtenue en 2012. Les trajectoires ont été reliées manuellement aux ports et marinas des embarcations en question. Le Tableau 14 présente un résumé de l'effort d'échantillonnage des embarcations dans la zone d'étude ainsi que les caractéristiques principales du trafic maritime dans ces trois corridors de navigation. L'échantillonnage a été uniformisé entre les différents corridors en considérant le nombre de trajectoires disponibles et en le divisant par le nombre de passages journaliers par le type d'embarcation fréquentant le corridor en question. Un équivalent en jour d'échantillonnage pour chacun des corridors a pu ainsi être obtenu dans le but de pondérer tous les corridors de navigation en fonction de l'effort d'échantillonnage. Une grande embarcation à moteur n'a pas été utilisée (19 trajets) pour

l'estimation, car elle fréquentait irrégulièrement la zone d'étude et n'était présente qu'en 2012. Le retrait de cette embarcation fournit un portrait plus fidèle de la navigation dans la zone d'étude.

Tableau 14 : Sommaire des informations sur les corridors de navigation (voir section 3.3), sur l'effort d'échantillonnage et sur les variables de pondération pour la densité relative et le risque de collision pour les embarcations commerciales.

Corridors de navigation :	Navettes	Croisiéristes (à voile)	Croisiéristes (à moteur)
Taille des embarcations (en mètre)	>25	15 à 30	10 à 25
Nombre de trajets mesurés	91	92	30
Nombre de positions	522	761	151
Nombre d'embarcations échantillonnées	3	4	1
Nombre de passages par jour par embarcation	4	2	2
Nombre d'embarcations par jour (Entre parenthèses : nombre minimal)	2 (2)	~5 (3)	~5 (1)
Vitesse moyenne en km/h (\pm écart type)	37,1 (\pm 3,0)	12,0 (\pm 2,7)	25,9 (\pm 7,6)
Vitesse moyenne en noeud	20,0	6,5	14,0
Probabilité de blessure mortelle suite à une collision en fonction de la vitesse moyenne (Vanderlaan et Taggart, 2007)	~0,95	~0,1	~0,7
Nombre d'équivalent jours d'échantillonnage	11,4	9,2	3

3.2 Caractérisation de la population et utilisation de l'habitat

Cette section détaille les caractéristiques de la population de baleines à bosse étudiées selon les quatre objectifs spécifiques relatifs à cet objectif général, soit l'abondance relative temporelle, la composition des groupes, la distribution et finalement l'analyse des trajectoires.

A) Abondance relative temporelle

L'abondance relative temporelle ainsi que les facteurs influençant cette abondance ont été déterminés en utilisant les données des blocs d'observation (BO) d'une heure afin d'uniformiser l'effort d'échantillonnage et de le rendre comparable d'une journée à l'autre. Le nombre de BO en fonction du nombre de groupes et d'individus adultes observés est présenté à la Figure 15. On constate que le nombre de groupes observés dans la zone d'étude est généralement entre 1 et 2, avec un maximum de 6 groupes, et que

24% des BO ne comportent aucune observation. Le nombre d'individus oscille entre 1 et 9, mais est rarement supérieur à 3. Le nombre moyen (\pm écart type) de groupe par BO est de 1,49 (\pm 1,28) et le nombre moyen d'individus adultes par BO est de 2,17 (\pm 1,88).

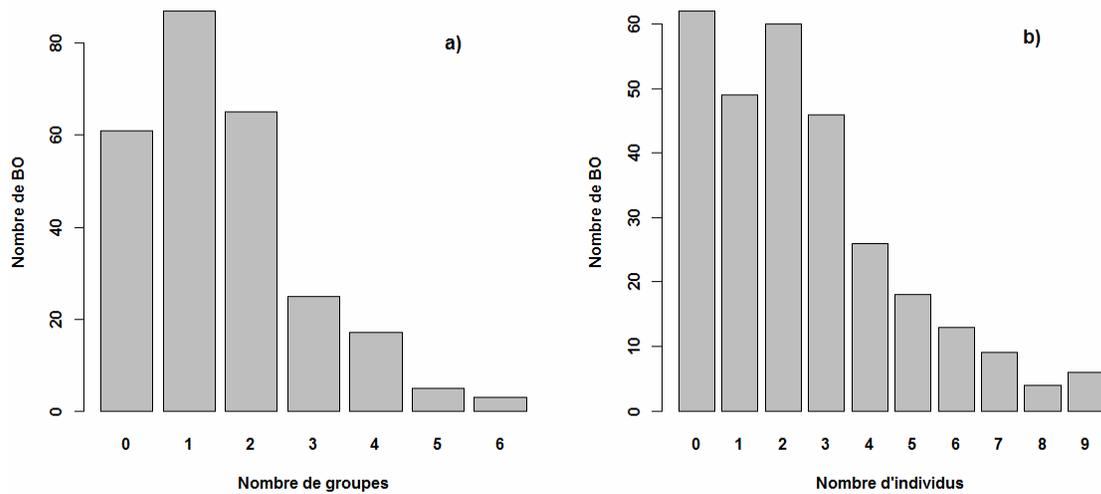


Figure 15 : Histogramme du nombre de blocs d'observation (BO) (n=257) en 2012 et 2013 selon le nombre de groupes (a) et d'individus (b).

L'évolution temporelle de l'abondance relative du nombre moyen de groupes et d'individus par BO est présentée à la Figure 16 en combinant les observations par période de 15 jours.

Le nombre de groupes et d'individus dans la zone est très variable peu importe le moment de la saison comme le montre les écart-types sur le graphique. L'abondance augmente de la mi-février jusqu'au mois d'avril, où elle culmine vers la première semaine de ce mois, avant de diminuer en s'approchant du mois de mai. Malheureusement, l'échantillonnage au mois de mai est faible entre autres pour des raisons météorologiques et logistiques.

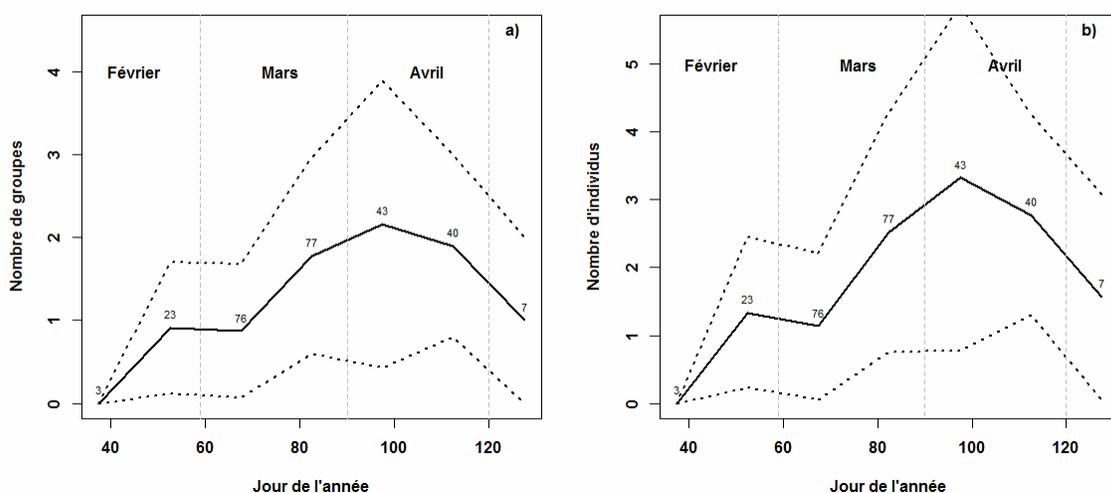


Figure 16 : Abondance relative moyenne en 2012 et 2013 (par période de 15 jours) du nombre de groupes (a) et d'individus (b) par bloc d'observation (BO) (n=257) selon le jour de l'année. Les nombres au dessus de la courbe noire indiquent le nombre de BO ayant servi pour la moyenne. Les lignes pointillées indiquent l'écart type.

Pour déterminer les facteurs qui pourraient influencer l'abondance relative dans la zone d'étude, un modèle linéaire généralisé (McCullagh et Nelder, 1989) a été appliqué aux données sur les BO en utilisant une distribution de Poisson, comme conseillé par Zuur *et al* (2009) et Bolker *et al* (2008) pour des décomptes. La relation a été modélisée entre le nombre de groupes et les variables temporelles (l'année, le jour de l'année, l'heure et le rang du BO dans la journée), les variables météorologiques (IM et visibilité), le nombre d'observateurs et finalement le nombre total d'embarcations dans la zone d'étude (INE) en utilisant la formule générale suivante :

$$\text{Variable réponse} \sim \text{Année} + \text{Jour} + \text{Heure} + \text{Rang} + \text{IM} + \text{Visibilité} + \text{INE} + \text{Nombre d'observateurs}$$

Une analyse séparée a été faite pour les données du nombre de groupes prises en avant-midi, pour 2012 et 2013 et en combinant les données d'avant-midi et d'après-midi des deux années. L'analyse des données d'après-midi n'a pas été entreprise en raison du faible effectif (n=50). Cette même analyse a été répétée pour le nombre d'individus. La sélection des variables à inclure dans le modèle final a été entreprise par la méthode d'élimination régressive (*backward elimination*) (Legendre et Legendre, 2012). Les résultats de ces tests sont présentés au Tableau 15.

Tableau 15 : Résultats des modèles linéaires généralisés (distribution de Poisson), après élimination régressive des variables réponses (le tiret indique que la variable n'a pas été sélectionnée dans le modèle final), réalisés pour le nombre de groupes et d'individus à partir des blocs d'observation (BO). Le coefficient (Coef.), l'erreur type (E.t.) et la probabilité après 9999 permutations sans remise de la variable réponse (p.perm) sont fournis dans le tableau. * : les probabilités significatives au seuil 0,05.

	Variables explicatives :	Variables réponses :					
		Nombre de groupes			Nombre d'individus		
		Coef.	E.t	p.perm	Coef.	E.t	p.perm
Modèles	Global (n=203)						
	Année	-	-	-	-	-	-
	Jour de l'année	0,0198	0,0034	0,0001*	0,0223	0,0028	0,0001*
	Rang du BO	-	-	-	-	-	-
	Heure	0,0340	0,0157	0,0468*	0,0444	0,0129	0,0082*
	Nombre d'obs.	0,2359	0,0845	0,0108*	0,2689	0,0703	0,0042*
	Visibilité	0,0169	0,0090	0,0864	0,0121	0,0074	0,2280
	Indice météo	-	-	-	-	-	-
	INE	-0,0345	0,0125	0,0110*	-0,0368	0,0104	0,0079*
	Avant-midi (n=153)						
	Année	-	-	-	-	-	-
	Jour de l'année	0,0178	0,0038	0,0001*	0,0188	0,0040	0,0001*
	Heure	-0,1659	0,0668	0,0212*	-0,1702	0,0703	0,0181*
	Nombre d'obs.	0,2294	0,0890	0,0169*	0,2504	0,0935	0,0083*
	Visibilité	-	-	-	-	-	-
	Indice météo	-	-	-	-	-	-
	INE	-	-	-	-	-	-
	2012 (n=134)						
	Jour de l'année	0,0172	0,0048	0,0004*	0,0236	0,0048	0,0001*
	Rang du BO	-0,1541	0,0761	0,0429*	-0,1867	0,0772	0,0175*
	Heure	0,0463	0,0203	0,0215*	0,0672	0,0196	0,0006*
	Nombre d'obs.	0,2367	0,1117	0,0379*	0,2491	0,1109	0,0233*
	Visibilité	0,0201	0,0116	0,0875	-0,1920	0,1081	0,0767
	Indice météo	-	-	-	-	-	-
	INE	-	-	-	-	-	-
	2013 (n=69)						
	Jour de l'année	0,0213	0,0055	0,0001*	0,0209	0,0042	0,0001*
	Rang du BO	-	-	-	-	-	-
Heure	-	-	-	-	-	-	
Nombre d'obs.	0,2277	0,1487	0,0938	0,1905	0,1122	0,0924	
Visibilité	-	-	-	-	-	-	
Indice météo	0,3390	0,1807	0,0338*	0,6249	0,1484	0,0001*	
INE	-	-	-	-	-	-	

La procédure proposée par Zuur *et al* (2009) pour l'identification et la suppression des données extrêmes (*outliers*) (voir l'Annexe 13) et quant à l'identification de variables explicatives présentant une forte colinéarité (voir l'Annexe 14) a été suivie, ces deux

facteurs pouvant influencer fortement les modèles linéaires généralisés (Anderson et Legendre 1999). Après élimination des données manquantes et des données extrêmes, 203 BO (sur 257 au total) étaient disponibles pour cette analyse. Les modèles réduits, c'est-à-dire après sélection des variables explicatives, ont été testés bilatéralement en utilisant la statistique z (qui converge vers la statistique t lorsque $n > 100$ (Paulson, 2008)) en permutant sans remise (*jackknife*) la variable réponse. Les modèles ont été réalisés dans R (R Development Core Team, 2005) grâce à la fonction *glm* de la librairie de fonctions *stats* et la sélection de modèle a été obtenue soit grâce à la fonction *step* de la même librairie de fonctions en utilisant le critère d'information d'Akaike (*AIC*), ou manuellement en utilisant la statistique z dans les cas où la famille « quasipoisson » a été utilisée afin de corriger certains modèles (c'est-à-dire pour le nombre de groupes en 2012 et pour tous les modèles impliquant le nombre d'individus) pour une légère surdispersion (*overdispersion*) ($\max = 2,22$) (Zuur *et al*, 2009). Le test par permutation du modèle réduit a été réalisé par une fonction programmée par l'auteur. La validation du modèle réduit a été entreprise par l'examen graphique des résidus en suivant la procédure proposée par Zuur *et al* (2009). Le facteur d'inflation de la variance (*VIF*) (Legendre et Legendre, 2012) est présenté au Tableau 16 pour attester de la colinéarité entre les variables explicatives. À partir de ce critère, le rang du BO a été éliminé pour les modèles en avant-midi (AM). Après avoir éliminé cette variable, la colinéarité reste faible, soit inférieure à 2,5, pour toutes les variables explicatives dans tous les modèles.

Ces modèles permettent de constater des différences importantes dans les variables explicatives significatives entre les 2 années et en avant-midi et peu de différence entre les variables réponses (c'est-à-dire le nombre de groupes et le nombre d'individus) des différents modèles.

Tableau 16 : Facteurs d'inflation de la variance (*VIF*) pour toutes les variables explicatives utilisées pour les 4 modèles linéaires généralisés (GLM) des blocs d'observation (BO). En italique et souligné : *VIF* > 2,25.

Variables explicatives :	Modèles				
	Global	Avant-midi¹	Avant-midi²	2012	2013
Année	1,85	1,91	1,77	-	-
Jour de l'année	1,17	1,20	1,20	1,18	1,14
Rang du BO	1,54	<i><u>13,70</u></i>	-	1,97	1,27
Heure	1,10	<i><u>13,96</u></i>	1,66	1,12	1,20
Nombre d'obs.	1,34	1,40	1,34	1,08	1,32
Visibilité	1,13	1,17	1,17	1,1	1,29
Indice météo (IM)	1,15	1,19	1,18	1,10	1,36
INE	2,01	2,22	2,21	1,97	1,68
Effectif (n) :	203	153	153	134	69

1 : avec toutes les variables explicatives.

2 : après retrait de la variable explicative « Rang du BO ».

B) Composition des groupes

La composition des groupes a été déterminée en considérant les 2^{ème} BO de chaque vigie afin d'éviter le double comptage des mêmes groupes entre 2 BO d'une même vigie. Le 2^{ème} BO a été choisi car il est présent dans presque toutes les vigies et est précédé d'une heure d'observation (le premier BO) permettant de mieux identifier les groupes et leur composition avec certitude. Un total de 57 2^{ème} blocs d'observation comportant des observations, comptabilisant 122 groupes, a été considéré et les détails sont présentés dans les Tableaux 17 et 18. Certains groupes ont été qualifiés de « composition incertaine ». Il s'agit principalement de groupes d'un ou deux individus dont l'absence de baleineau n'a pu être établie avec certitude, habituellement en raison de la distance au point d'observation et des conditions météorologiques. La distribution de la composition des groupes présentée aux Tableaux 17 et 18 représente donc un minimum du nombre de groupes accompagnés de baleineaux. Les diagrammes en pointe de tarte (Figure 17) résument ces deux tableaux. Pour ces données, la taille des groupes (en considérant seulement le nombre d'adultes) varie entre 1 et 2 individus avec une moyenne (\pm écart type) de 1,48 individus (\pm 0,63).

Tableau 17 : Nombre de groupes pour chaque catégorie de composition (voir Tableau 7), selon l'année d'étude, en considérant le 2^{ième} bloc d'observation (BO). Entre parenthèse le nombre de groupes dont la composition est incertaine.

Composition :	2012 (n = 33 BO)		2013 (n = 24 BO)		2012-2013 (n = 57 BO)	
	Nombre de groupes	%	Nombre de groupes	%	Nombre de groupes	%
SOLO	45 (26)	56	16 (7)	39	61 (33)	50
DUO	20 (5)	25	17 (3)	41	37 (8)	30
TRIO	6 (0)	7	1 (1)	2	7 (1)	6
TRIO+	1 (0)	1	1 (0)	2	2 (0)	2
MOCA	8 (0)	10	4 (0)	10	12 (0)	10
MOCE	1 (0)	1	2 (0)	5	3 (0)	2
Total	81 (31)	100	41 (11)	100	122 (42)	100

Tableau 18 : Nombre de groupes pour chaque catégorie de composition (voir Tableau 7), selon le mois des observations, en considérant le 2^{ième} bloc d'observation (BO), et pour les groupes sélectionnés. Entre parenthèse le nombre de groupes dont la composition est incertaine.

Composition :	Mars (n = 28 BO)		Avril (n = 22 BO)		Groupes sélectionnés	
	Nombre de groupes	%	Nombre de groupes	%	Nombre de groupes	%
SOLO	22 (13)	42	22 (15)	48	33	31
DUO	18 (3)	34	15 (4)	33	40	37
TRIO	2 (0)	4	4 (1)	9	4	4
TRIO+	0 (0)	0	2 (0)	4	2	2
MOCA	9 (0)	17	2 (0)	4	22	21
MOCE	2 (0)	4	1 (0)	2	6	6
Total	53 (16)	100	46 (19)	100	107	100

La composition des groupes est différente entre les deux années d'étude et diffère aussi avec la composition des groupes sélectionnés, lesquels comportent une plus grande proportion de groupes accompagnés de baleineaux. Les mois de mars et d'avril diffèrent également dans la composition des groupes, principalement pour les catégories des femelles accompagnées de baleineaux (MOCA et MOCE) beaucoup plus élevé en mars.

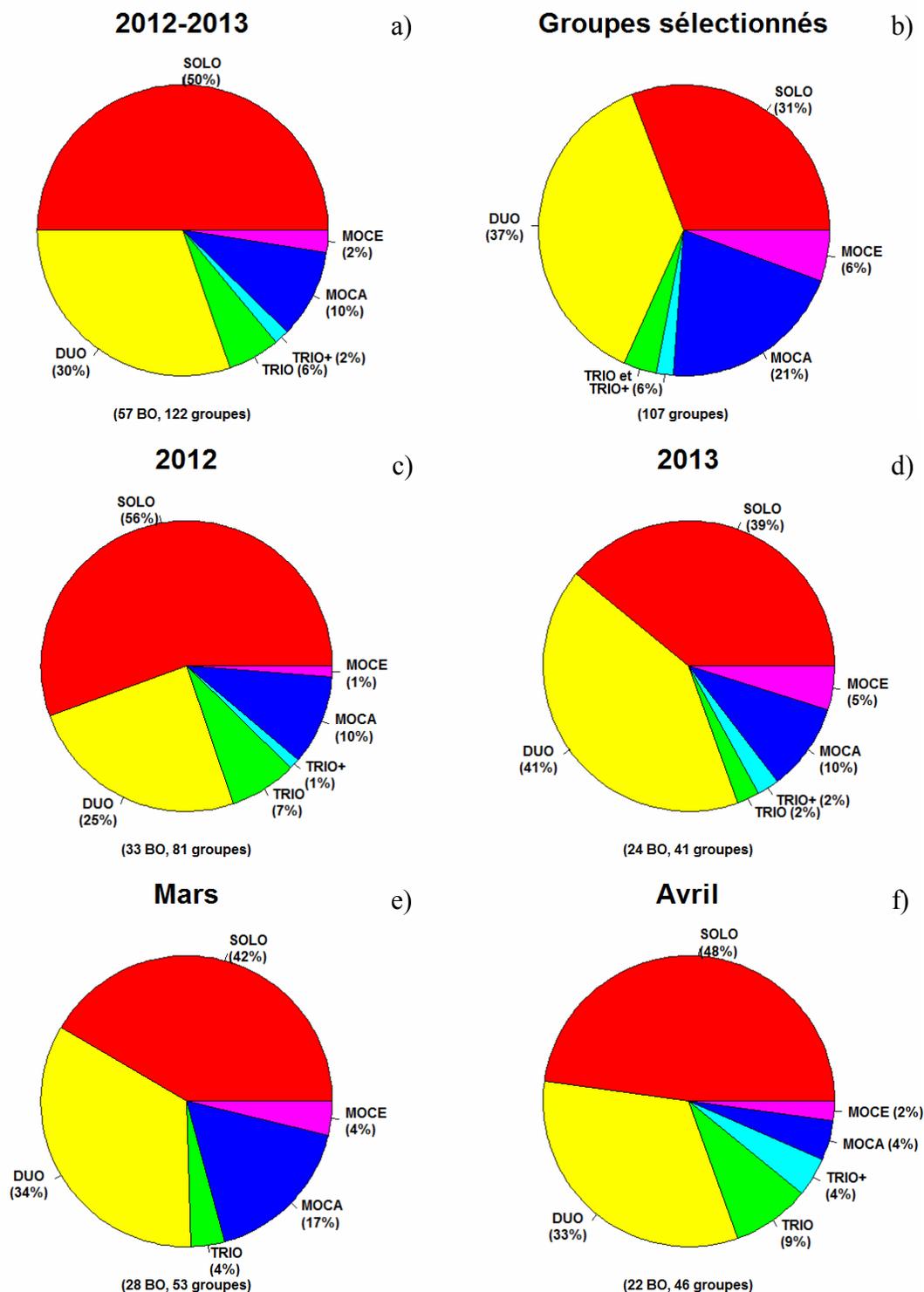


Figure 17 : Diagrammes en pointes de tarte de la composition des groupes pour 2012 et 2013 (a), pour les groupes sélectionnés (b), pour les deux années séparées (c-d) et pour les mois de mars et avril (e-f). L'effectif (nombre de BO et/ou nombre de groupes) est indiqué sous chaque diagramme. Les abréviations de la composition des groupes sont détaillées au Tableau 7.

Le Tableau 19 présente la proportion de baleineaux dans la population à partir des données présentées aux Tableaux 17 et 18 et à la Figure 17. La proportion de baleineaux se trouve entre 7,2% et 8,6% en 2012 et 2013. Celle-ci atteint plus de 9% en mars et plus de 14% pour les groupes sélectionnés.

Tableau 19 : Nombre de groupes, d'adultes et de baleineaux ainsi que la proportion (%) de baleineaux dans la population en 2012 et 2013 pour différentes périodes (en considérant le 2^{ième} BO) ainsi que pour les groupes sélectionnés.

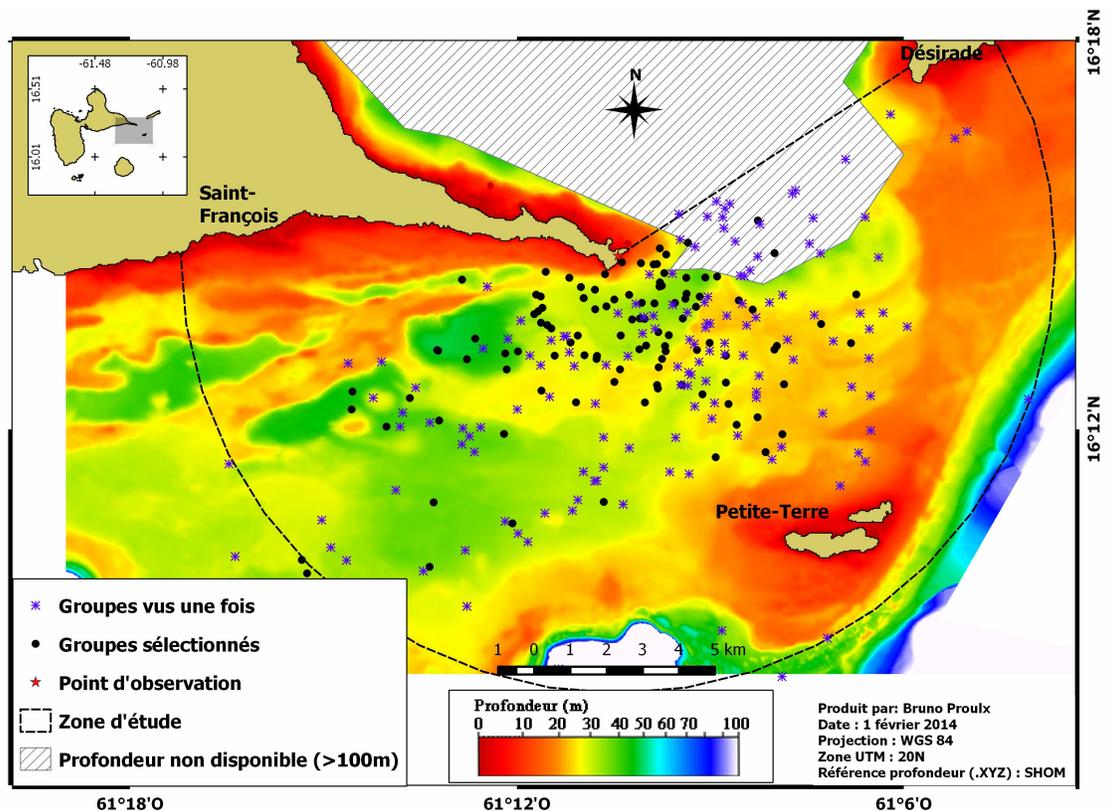
		Nombre de groupes	Nombre d'adultes	Nombre de baleineaux	Proportion de baleineaux (%)
Périodes :	2012	81	116	9	7,2
	2013	41	64	6	8,6
	2012-2013	122	180	15	7,7
	Mars	53	77	11	9,1
	Avril	46	74	3	3,9
Groupes sélectionnés		107	165	28	14,5

C) Distribution, habitat et densité

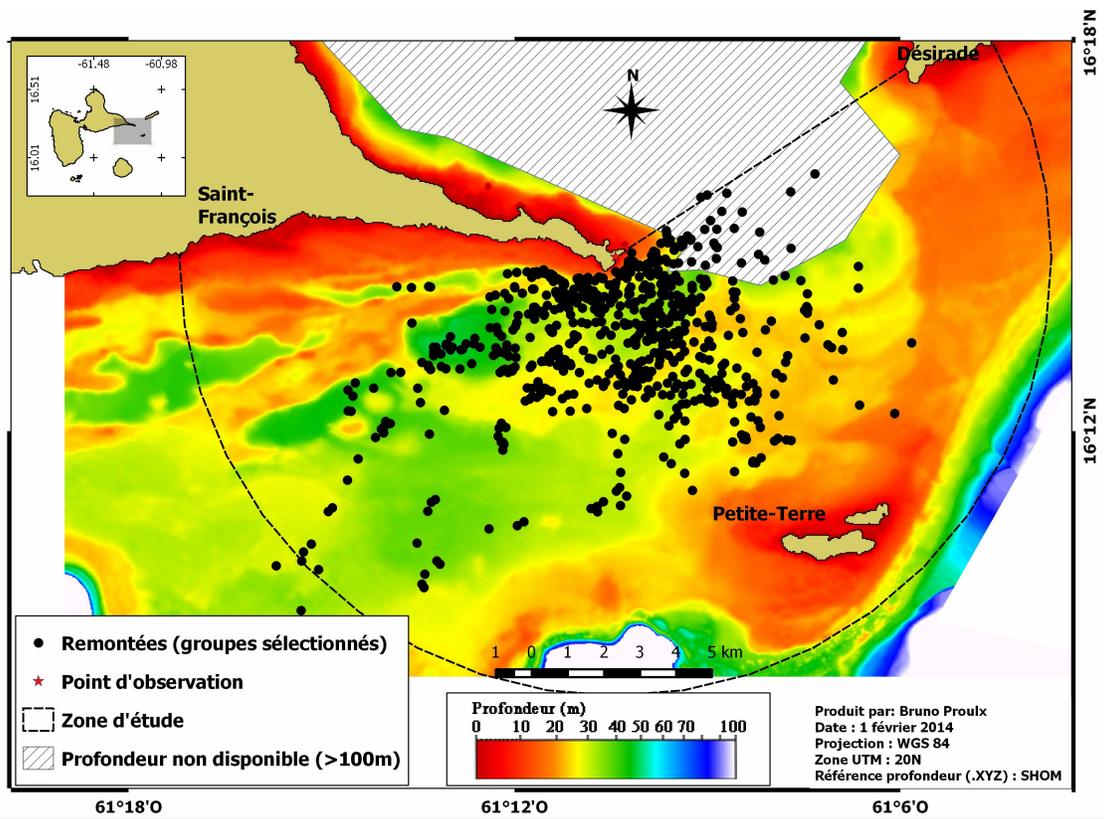
La distribution des observations des groupes vus une fois et des groupes sélectionnés est présentée aux Cartes 5 et 6 en relation avec la bathymétrie dans la zone d'étude.

Il est possible de constater que les remontées des groupes sélectionnés sont concentrées près du point d'observation, mais que les observations au-delà de 4 km du point d'observation ne sont pas uniformes. Les hauts fonds (c'est-à-dire à moins de 25 m de profondeur) entre Petite-Terre et La Désirade, autour de Petite-Terre et près de la côte entre Saint-François et le point d'observation ne comportent pratiquement aucune observation. Le constat est le même en considérant les groupes vus une fois. La Figure 18 présente le nombre de remontées des groupes sélectionnés en relation avec la distance de la côte et la profondeur et la Figure 19 présente le nombre de remontées en fonction de la distance du point d'observation. C'est à partir de ces graphiques qu'il est possible de déterminer une distance tronquée pour la fonction de détectabilité (voir les détails à la section 2.6). En appliquant la règle de Buckland *et al* (1993) d'éliminer environ 10% des observations les plus éloignées, plus de 90% des remontées des groupes sélectionnés se trouvent dans un rayon de 6,5 km du PO et plus de 90% des groupes observés (vus une fois et sélectionnés) se trouvent à moins de 9 km du PO. Une limite préliminaire de

l'épaule (voir section 2.6), c'est-à-dire la distance à laquelle la détectabilité est proche de 1, pourrait être fixée à la ligne des 4 km du point d'observation en se basant sur la distribution des observations en fonction de la DPO (Figure 19b), limite après laquelle le nombre d'observations chute rapidement. Cette zone inclut un habitat relativement uniforme, soit peu de variation de profondeur et une distance de la côte relativement faible.



Carte 5 : Positions des groupes vus une fois (n=143) et des positions centrales des groupes sélectionnés (n=107). Carte également disponible à l'Annexe 15.



Carte 6 : Positions des remontées des groupes sélectionnés (n=699). Carte également disponible à l'Annexe 16.

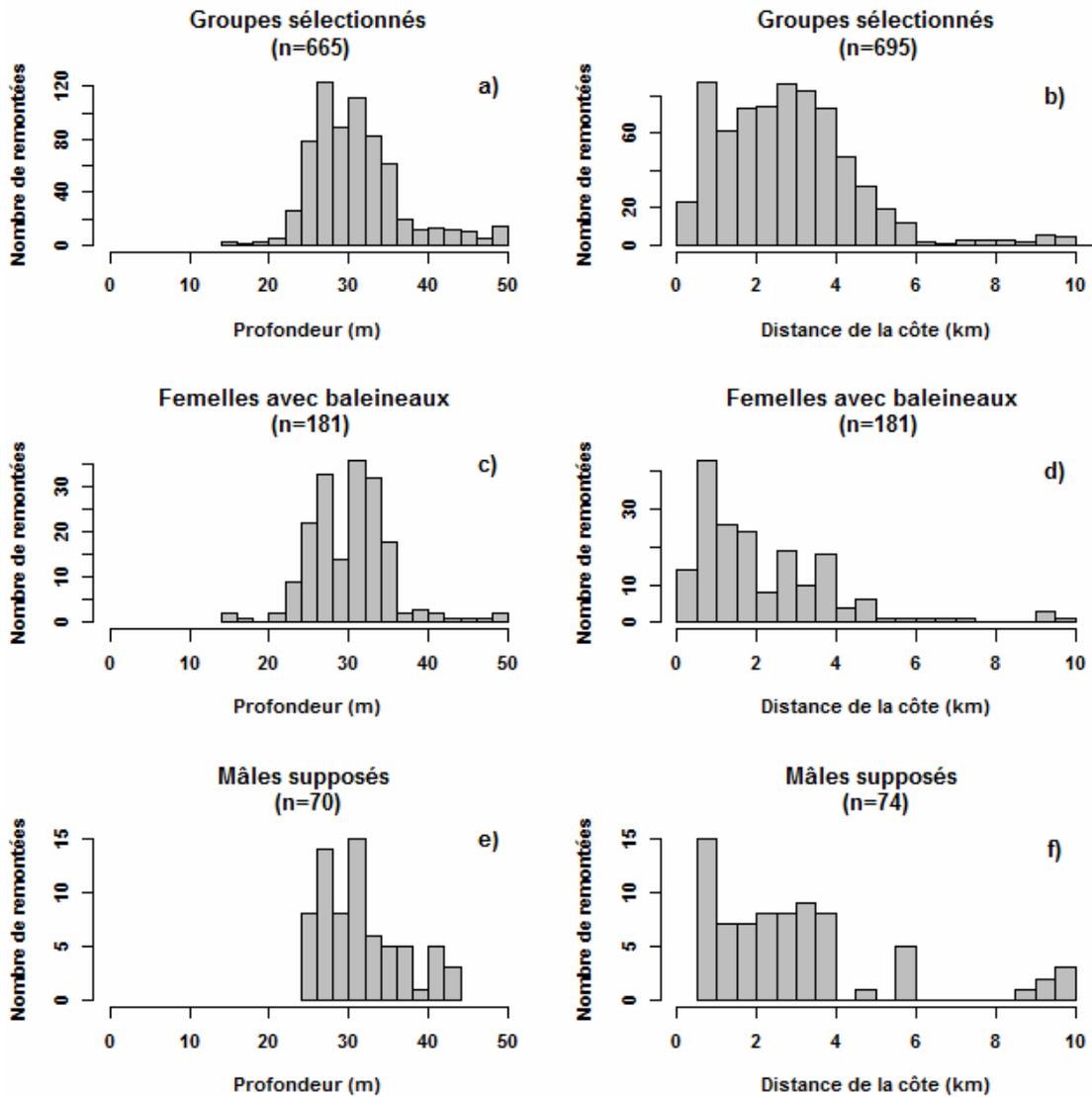


Figure 18 : Histogrammes du nombre de remontées pour les groupes sélectionnés (a-b), les femelles avec baleineaux (c-d) et les mâles supposés (e-f) selon la profondeur (a-c-e) et la distance de la côte (b-d-f).

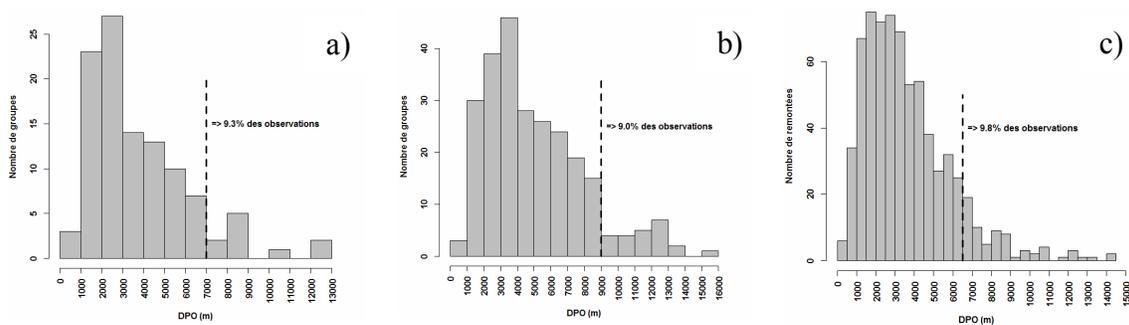
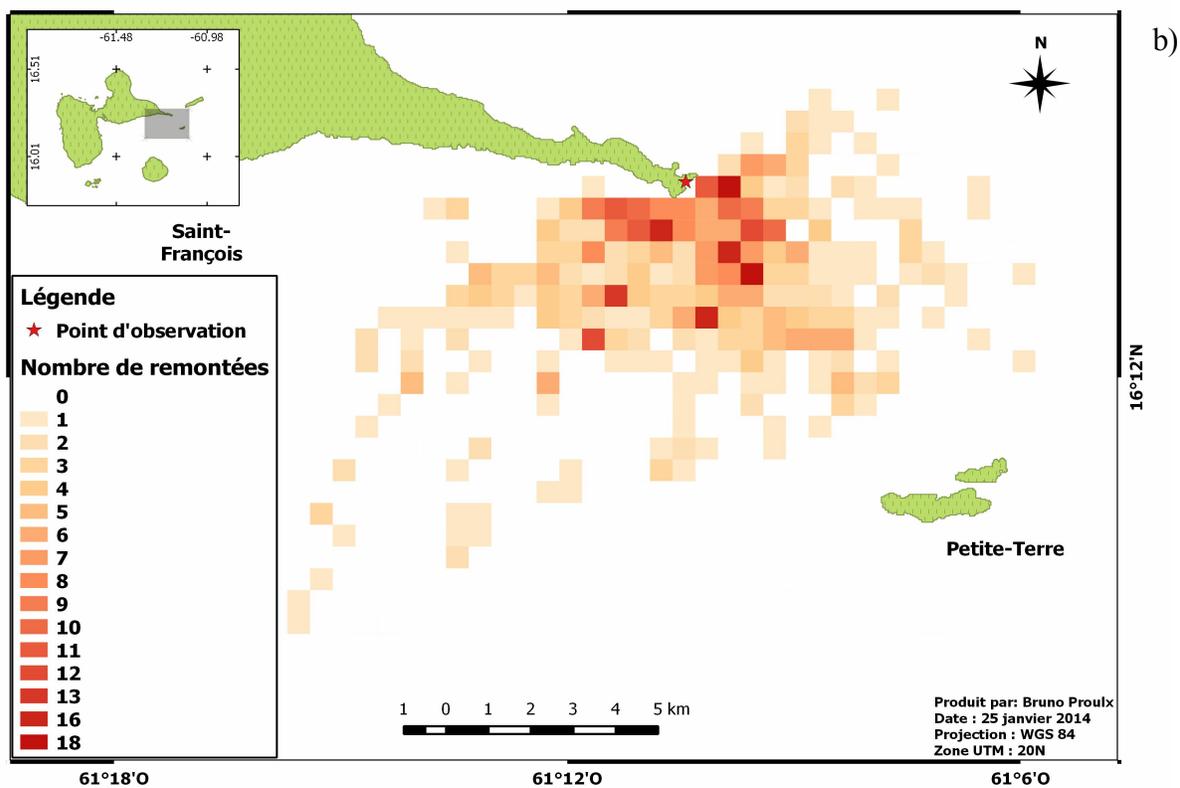
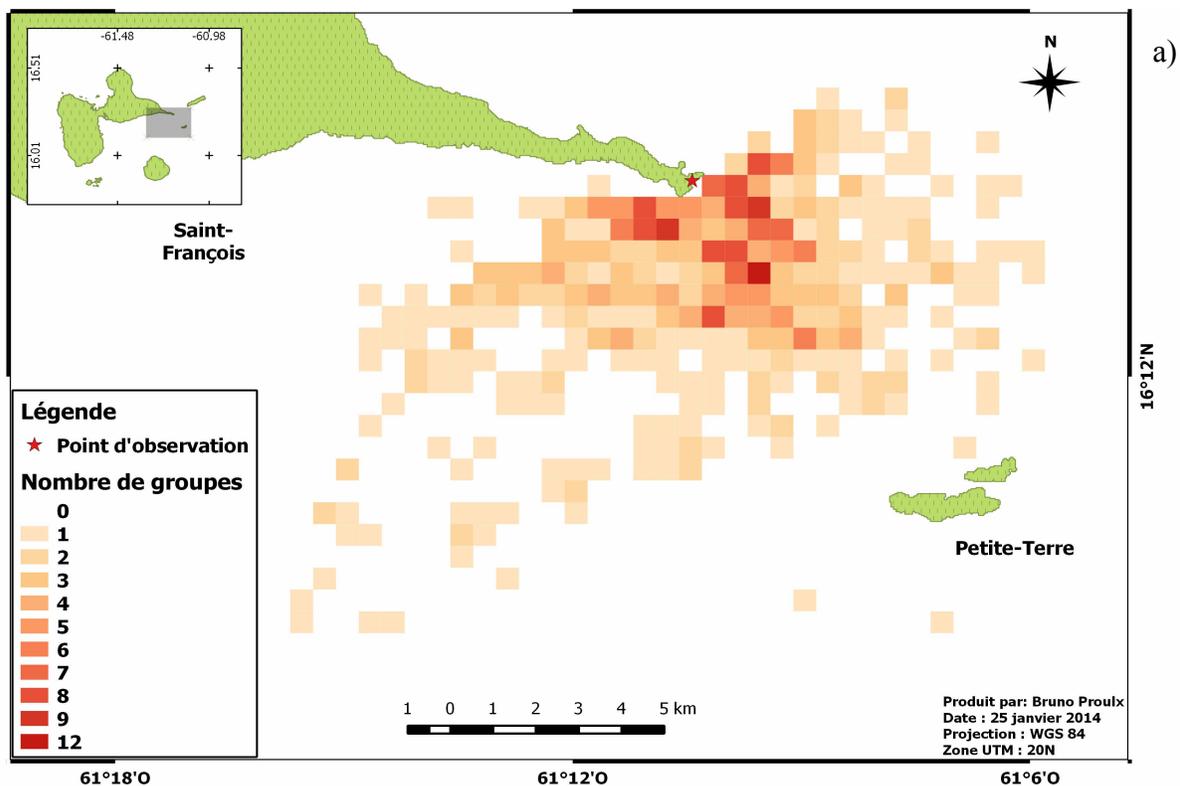


Figure 19 : Nombre d’observations en fonction de la distance du point d’observation (DPO). a : positions centrales des groupes sélectionnés (n=107). b : positions centrales des groupes sélectionnés (n=107) et positions des groupes vus une fois (n=143). c : remontées des groupes sélectionnés (n=699).

La Carte 7 présente la densité absolue du nombre de remontées et du nombre de groupes. La densité a été comptabilisée en calculant le nombre de groupes différents ayant fréquenté une cellule en considérant la trajectoire des groupes sélectionnés ainsi que les remontées des groupes vus une fois. La taille des cellules est de 500 m par 500 m. Le choix de la dimension de la grille spatiale pour représenter ces données est le résultat d’un compromis entre une échelle trop fine, représentative des observations, et une échelle trop grande camouflant la variabilité locale. Une grille de 500 mètres de côté semble le meilleur compromis, car elle représente fidèlement les variations locales de densité sans toutefois être trop affectée par les observations ponctuelles. Cette dimension de grille est peu affectée par l’incertitude sur la position qui est d’un ordre de magnitude beaucoup plus faible (voir section 2.6 sur le sujet).



Carte 7 : Densité du nombre de groupes (a, n=143 groupes vus une fois et 107 groupes sélectionnés) et du nombre de remontées des groupes sélectionnés (b, n=699) par cellule de 500 m.

Bien que les densités et la distribution des observations présentées dans cette section soient biaisées vers le point d'observation, il est possible de décrire trois zones de densité plus élevée : une à l'est, une à l'ouest et une au sud-est du point d'observation, correspondant aux zones de convergence des trajectoires présentées à la section 3.2.

D) Analyse des trajectoires

Cette section présente premièrement la moyenne des variables comportementales liées aux trajectoires afin de donner un aperçu de la variabilité du comportement (Figure 20). La distribution des trajectoires dans la zone d'étude est ensuite caractérisée. Finalement, cette section décrit la vitesse nette orientée du déplacement des groupes. L'analyse du comportement en présence d'embarcation est présentée à la section 3.3 sur les pressions anthropiques.

i) Indices de trajectoires

La figure 20 présente l'étendue des valeurs des variables comportementales liées aux trajectoires (Figure 11) pour trois catégories de composition de groupe de baleines. Il est à noter que les indices de trajectoires sont très variables entre les groupes. La différence la plus marquée s'observe au niveau des groupes de mâles supposés où la plage de variation du comportement, particulièrement pour la vitesse moyenne, le taux de variation de vitesse et le taux de réorientation, est plus faible que pour tous les groupes et pour les groupes accompagnés de baleineaux (MOCA).

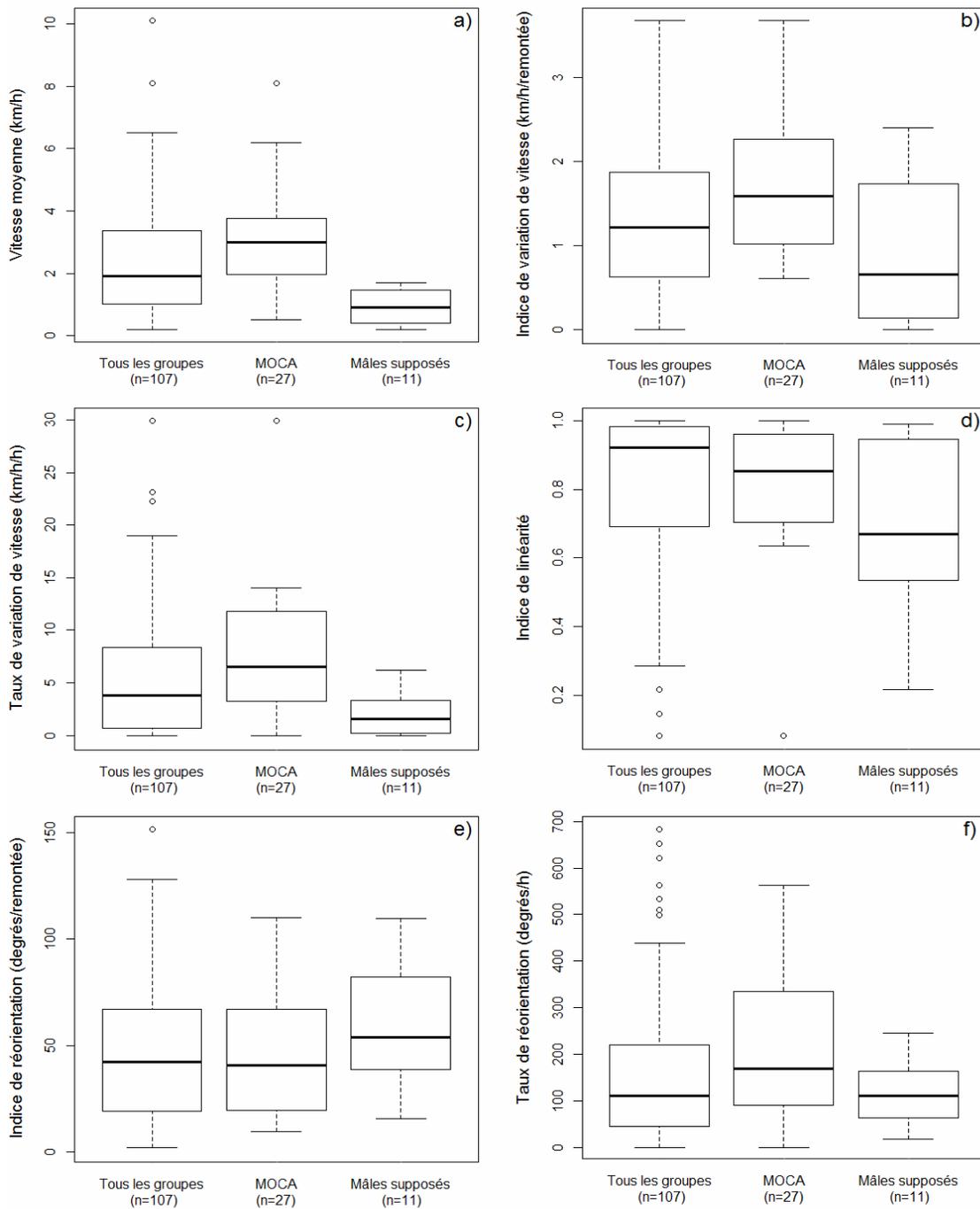
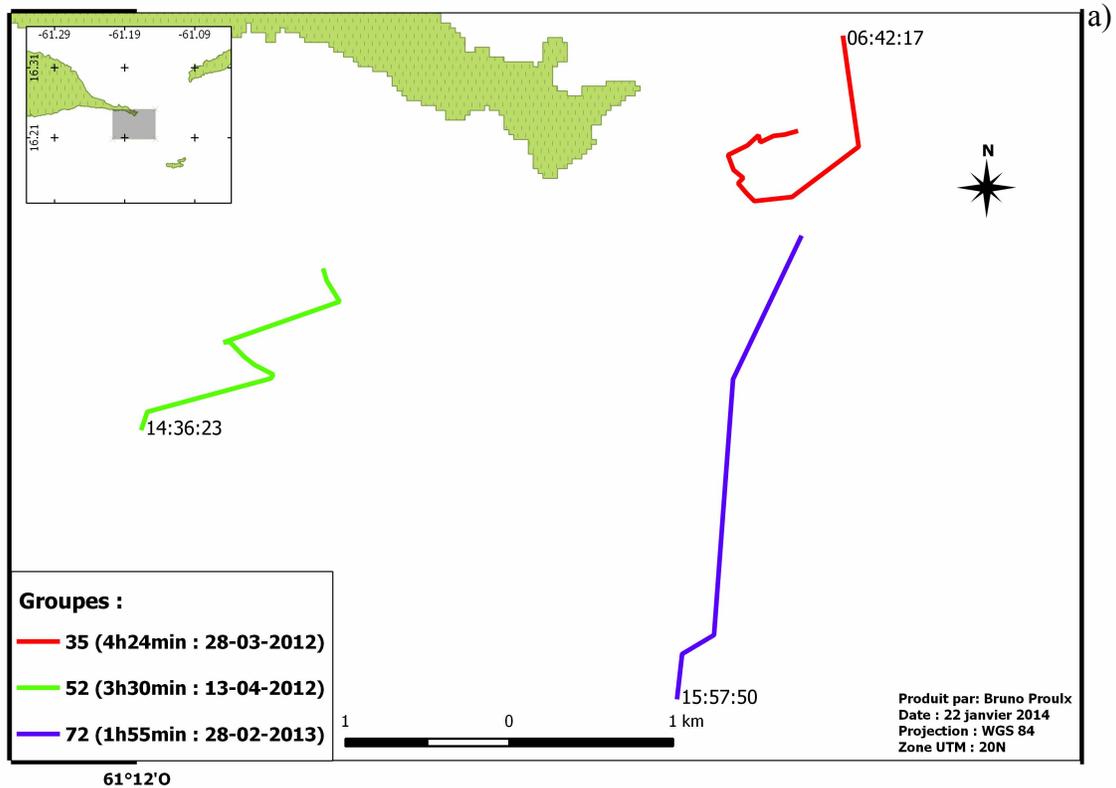


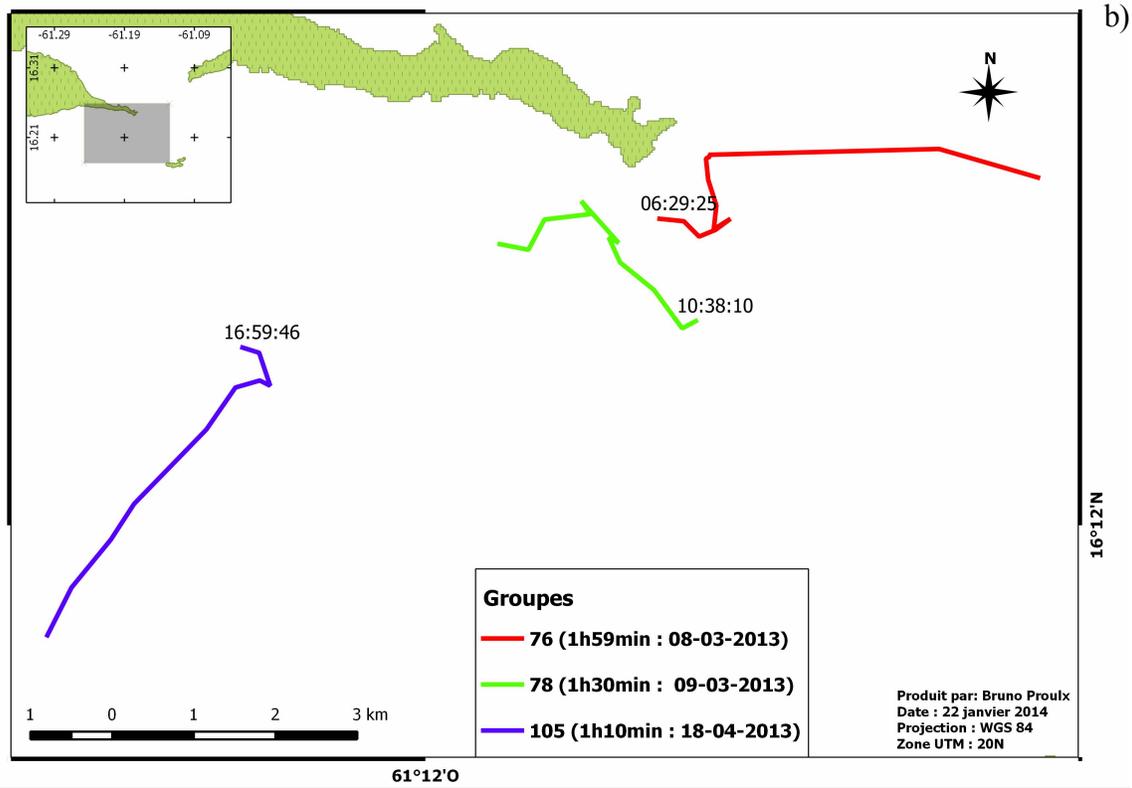
Figure 20 : Diagrammes en boîtes à moustaches de 6 variables comportementales liées aux trajectoires, soit la vitesse moyenne (a), l'IVV (b), le TVV (c), l'IL (d), l'IR (e) et le TR (f) pour tous les groupes sélectionnés (n=107), les groupes accompagnés de baleineaux (MOCA) (n=27) et pour les groupes de mâles supposés (n=11).

ii) Convergence et densité des trajectoires

Des exemples de trajectoires utilisées sont présentés à la Carte 8. D'autres exemples de trajectoires sont aussi disponibles dans la section 3.3 sur les pressions d'observation (Carte 16).

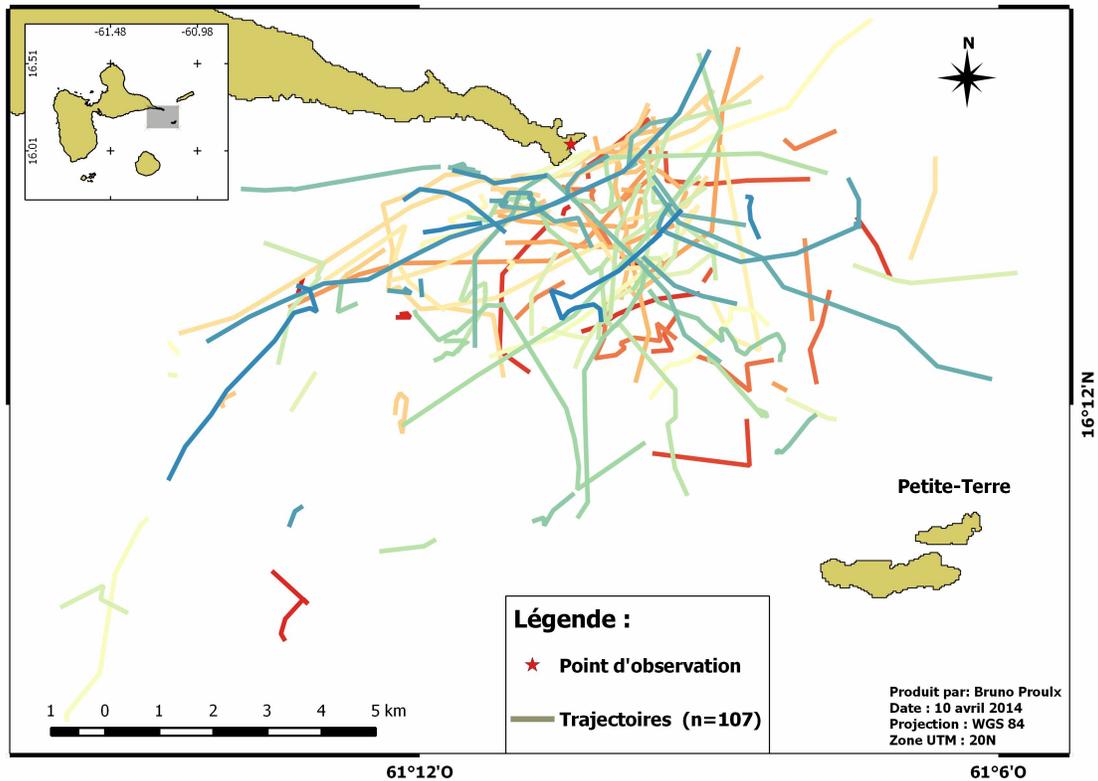


Carte 8 : Exemples de trajectoires pour trois groupes de mâles supposés (a) et pour trois groupes de femelles avec baleineaux (b). L'heure indique le moment et la position de la première observation. La légende indique l'identifiant du groupe, la durée du suivi ainsi que la date.



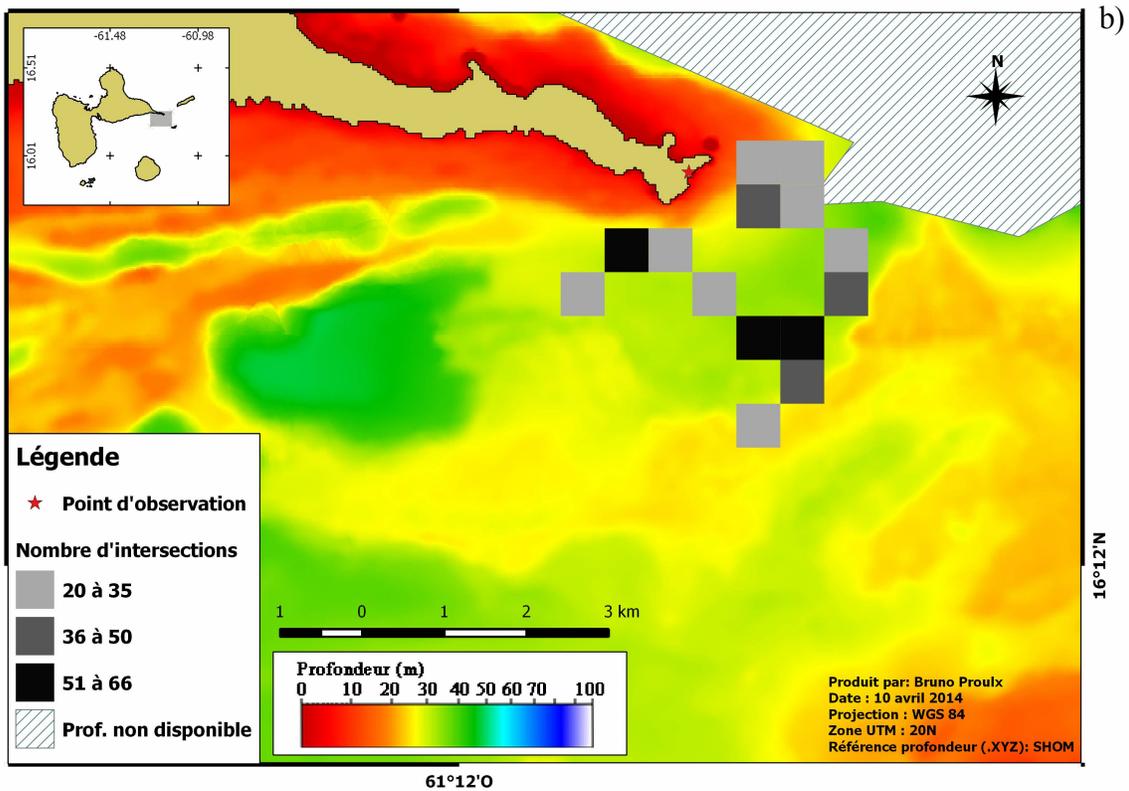
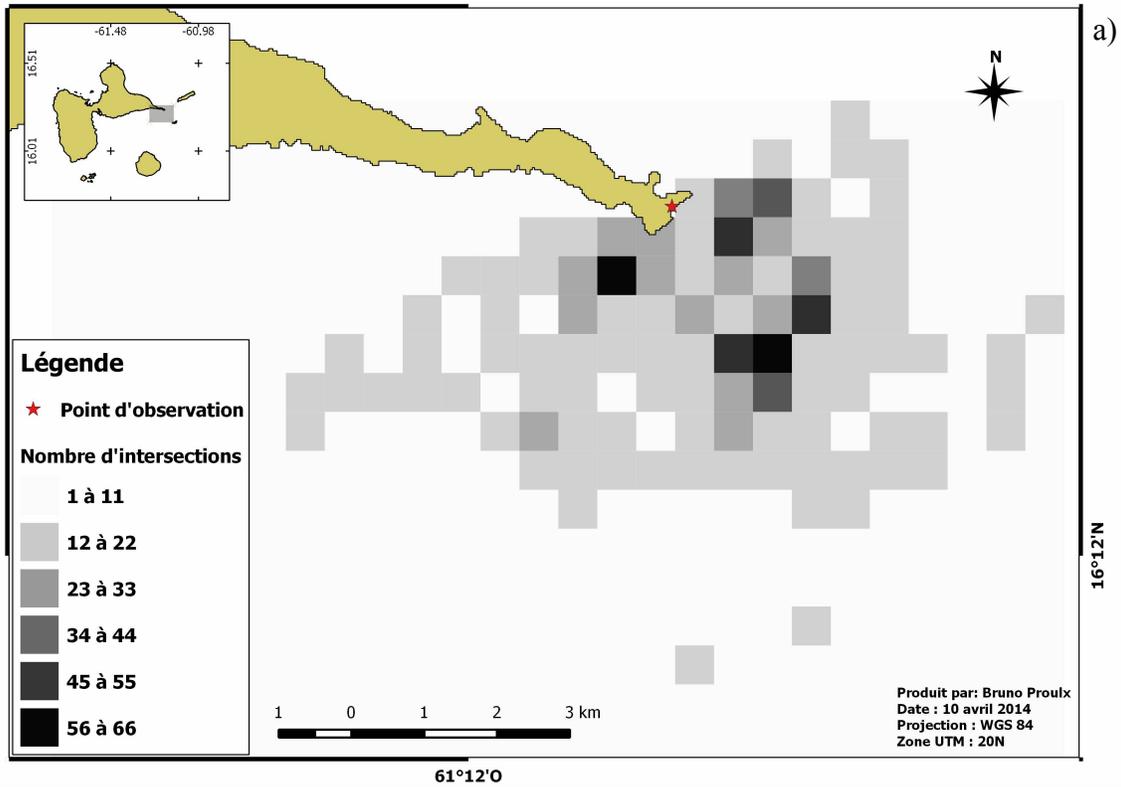
Carte 8 : Suite.

La Carte 9 illustre toutes les trajectoires des groupes sélectionnés et est présentée à titre indicatif. Cette carte est difficile à interpréter étant donné le nombre élevé de trajectoires ($n=107$). Une analyse quantitative de la distribution des zones d'intersection de celles-ci ainsi que de la longueur des trajectoires est produite (Cartes 10 et 11) afin de mettre en lumière les tendances générales. La résolution choisie, soit des cellules de 500 m (Carte 10) et 250 m (Carte 11), vise à permettre une visualisation optimale des tendances générales sans mettre l'accent sur les variations locales occasionnées par seulement quelques groupes.

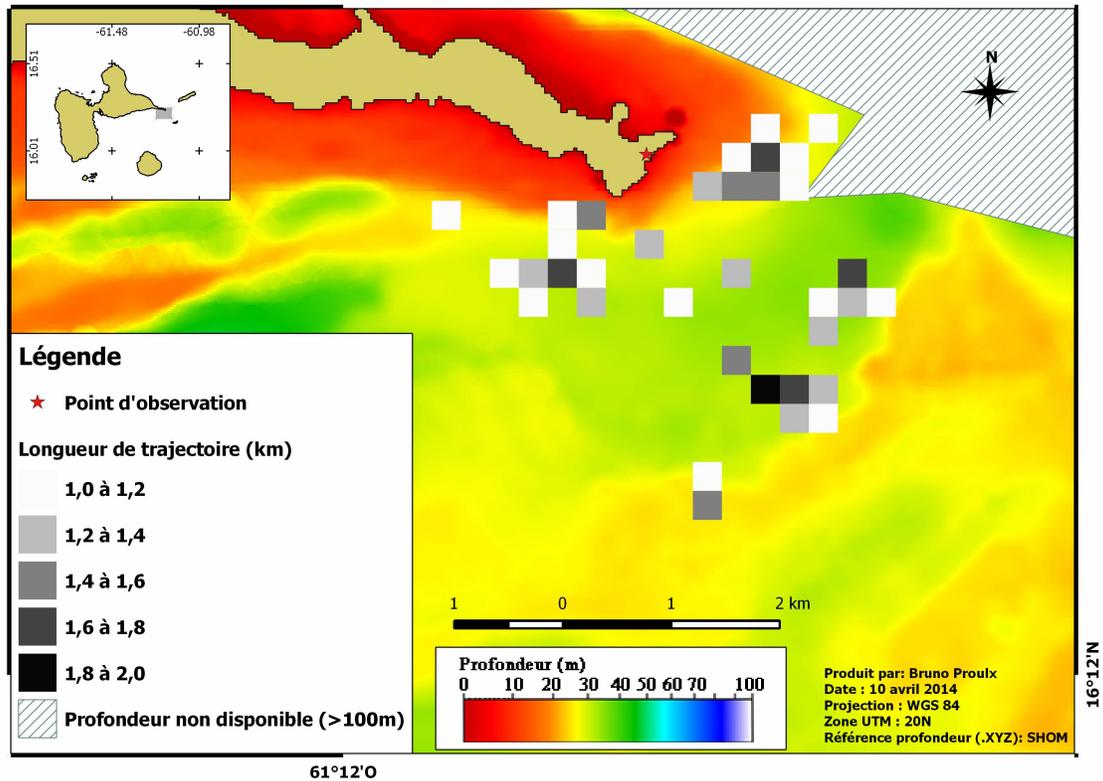


Carte 9 : Distribution de toutes les trajectoires des groupes sélectionnés (n=107). Cette carte est présentée à titre indicatif. Les couleurs diffèrent légèrement d'un groupe à l'autre.

La Carte 10 a été produite en positionnant un point sur toutes les intersections de trajectoire (à moins de 6,5 km du point d'observation) entre des groupes différents pour ensuite faire le décompte du nombre d'intersections de trajectoires (n = 943) par cellule de 500m. Dans l'analyse de réseaux, ces zones où les trajectoires des baleines se croisent représenteraient des « nœuds » dans le déplacement des baleines. Il est à noter que les trajectoires ne se croisent pas uniformément dans la zone d'étude et sont concentrées sur une surface relative restreinte par rapport à la zone considérée. La longueur des trajectoires par cellule de 250 m est présentée à la Carte 11. Celle-ci semble être en lien avec la bathymétrie de la zone d'étude à proximité du point d'observation.



Carte 10 : Distribution du nombre d'intersections de trajectoires des groupes sélectionnés par cellule de 500 m. a : toutes les intersections de trajectoires (n=943), b : les zones de grande densité d'intersection de trajectoires (n=514, soit plus de 50%).



Carte 11 : Distribution de la longueur des trajectoires (supérieure à 1 km) par cellule de 250m.

iii) Vitesse nette orientée

Une analyse de la vitesse nette orientée a été entreprise pour répondre à la question à savoir si un mouvement orienté existe dans la zone d'étude. Pour cette analyse, la vitesse nette de déplacement de chacun des groupes a été considérée, c'est-à-dire la vitesse pour parcourir la distance entre la première et la dernière remontée des groupes sélectionnés. Cette vitesse diffère de la vitesse moyenne qui considère la distance totale parcourue par le groupe. L'orientation entre la première et la dernière position a été associée à cette vitesse nette pour obtenir une vitesse nette orientée pour chacun des groupes sélectionnés. Celle-ci peut être considérée comme un vecteur de longueur également à la vitesse nette et orientée vers l'azimut du déplacement du groupe. En sommant tous ces vecteurs et en normalisant le vecteur résultant pour le nombre de groupes (ou de remontées) considérés dans le calcul, une vitesse et une orientation calculées sont obtenues pour l'ensemble des groupes. Une fonction dans R (R Development Core Team, 2005) a été créée générant à plusieurs reprises (9999 itérations) une orientation pour chacun des groupes avec une

probabilité uniforme afin de simuler des mouvements aléatoires (la fonction est disponible à l'Annexe 17). La vitesse nette est ensuite testée unilatéralement en calculant la probabilité d'obtenir une telle vitesse si l'orientation est aléatoire. L'hypothèse nulle de ce test sera « la vitesse nette résultante est le résultat d'une orientation aléatoire ». Le test sera considéré comme significatif, c'est-à-dire que la vitesse nette n'est pas aléatoire, si au plus 5% (probabilité de 0,05) des valeurs sont supérieures ou égales à la valeur de vitesse nette de l'échantillon. Le Tableau 20 présente les résultats de ce test pour les groupes à l'étude et la Figure 21 présente une version schématique de certains des résultats significatifs obtenus, en incluant la direction des courants dans la zone d'étude pour fin de comparaison. Il est à noter que la longueur des vecteurs de courants a été redimensionnée à un quart de la longueur réelle afin de bien visualiser les vecteurs de vitesses nettes orientées des baleines.

Tableau 20 : Résultats des tests sur la vitesse nette orientée. La probabilité a été estimée unilatéralement après 9999 itérations. La vitesse et l'orientation des courants (Pujos *et al*, 1992) sont données à titre indicatif. * résultats significatifs au seuil 0,05.

	Effectif	Vitesse (km/h)	Orientation (degré)	Probabilité
Courant (côté Désirade) (déplacement virtuel)	-	8,9	337,5° (NNO)	-
Courant (côté St-François) (déplacement virtuel)	-	5,3	67,5° (ENE)	-
Tous les groupes	106	0,828	85,7°	0,0001*
Tous les groupes (mars)	54	0,942	85,3°	0,0035*
Tous les groupes (avril)	43	0,803	89,9°	0,0255*
Toutes les remontées	592	1,000	82,0°	0,0001*
Groupes avec baleineaux (MOCA et MOCE)	28	1,66	285,9°	0,001*
Groupes mâles supposés	11	0,267	35,1°	0,418
Tous les groupes (sans mâles supposés ni femelles avec baleineaux)	67	0,664	67,5°	0,0246*

Ce test révèle que les vitesses nettes de tous les groupes, des femelles avec baleineaux et de tous les groupes (sans mâle supposé ni femelle avec baleineaux) ne seraient pas issues de mouvements aléatoires, ce qui n'est pas le cas pour la vitesse nette des mâles supposés. L'orientation diffère entre les femelles avec baleineaux (MOCA) et les autres

groupes, et se trouve pratiquement en direction opposée. La vitesse résultante est plus élevée chez les femelles avec baleineaux. L'orientation des groupes (sans femelle avec baleineaux ni mâle supposé) est dans la même direction que le courant du côté de Saint-François. Finalement, il ne semble pas y avoir de différence importante dans la vitesse nette et l'orientation de tous les groupes entre le mois de mars et d'avril.

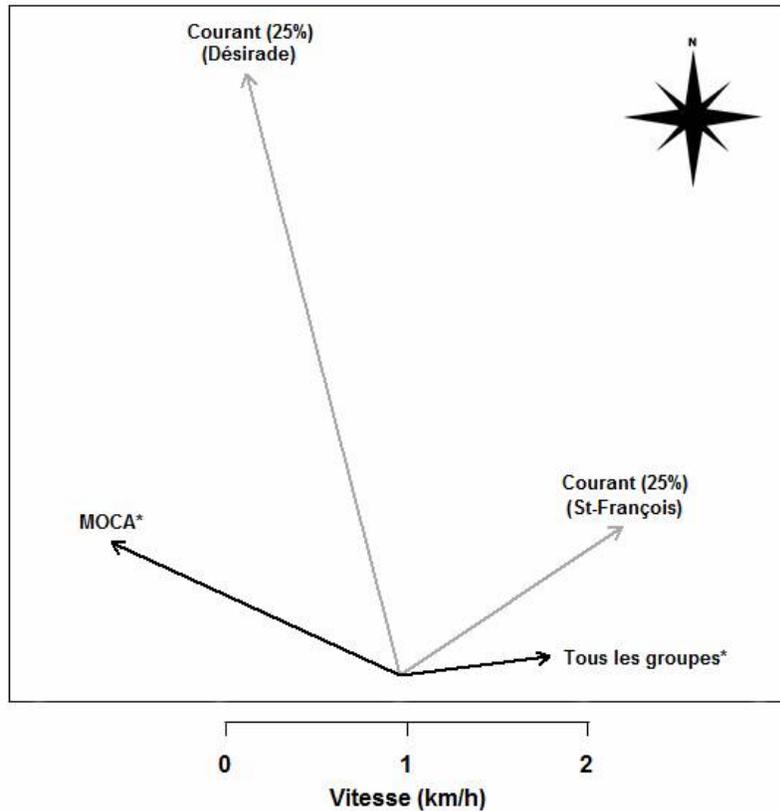


Figure 21 : Représentation schématique des vitesses nettes orientées significatives pour tous les groupes et pour les groupes accompagnés de baleineau (MOCA) présentées au Tableau 20. Les courants sont représentés à 25% de leurs valeurs de vitesse réelle.

3.3 Caractérisation des pressions anthropiques

Cette section décrit d'abord les aspects temporels et spatiaux de la navigation dans la zone d'étude avant d'aborder le risque relatif de collision entre les embarcations et les baleines. L'exposition des baleines à ce risque de collision ainsi qu'une caractérisation des approches par des embarcations sur cette population sont ensuite détaillées. Cette section se termine en donnant des exemples d'approches ainsi qu'une analyse qualitative de l'impact probable des approches sur le comportement.

A) Navigation dans la zone d'étude

Cette section se concentre surtout sur la navigation commerciale. Il faut savoir que la navigation de plaisance est également présente dans la zone ainsi qu'un grand nombre de petites embarcations de pêche que l'on nomme Saintoises. Les ports de Saint-François et de La Désirade sont les principaux lieux de départs des embarcations de pêche en Guadeloupe et la région de Saint-François avec la Réserve Naturelle de Petite-Terre sont fréquentées par les plaisanciers (Anonyme, 2012). Les embarcations de pêche, bien qu'ayant un impact potentiel sur les baleines fréquentant la zone d'étude, sont rarement impliquées dans les approches (obs. pers.) et ont des déplacements très irréguliers. Elles sont distribuées relativement uniformément dans la zone d'étude. Les embarcations de plaisance ont partiellement été considérées, car une majorité fait le trajet entre Saint-François et Petite-Terre et leur nombre a été estimé afin de corriger la densité relative de la navigation entre ces deux destinations.

Le type d'embarcation fréquentant la zone d'étude ainsi que l'évolution horaire de l'abondance de ces embarcations sont examinés en premier lieu. Les Saintoises sont généralement présentes tôt le matin bien que l'on en voie toute la journée et les plaisanciers suivent généralement l'horaire des croisiéristes vers Petite-Terre décrit plus bas (obs. pers.). Deux navettes rapides font le trajet entre La Désirade et Saint-François à tous les jours de la semaine, soit un aller-retour le matin et un aller-retour en fin d'après-midi (Départ de La Désirade : 6h15 et 15h30. Départ de Saint-François : 8h et 16h30). À tous les jours de la semaine, plusieurs croisiéristes commerciaux en embarcations à moteur et en catamarans à voile font l'aller-retour entre Saint-François et Petite-Terre. Le

départ de Saint-François à lieu vers 8h et le retour de Petite-Terre se fait aux environs de 16h. Les Figures 22 et 23 présentent l'évolution horaire du nombre d'embarcations à partir des évaluations du nombre d'embarcations dans la zone pendant les vigies.

On constate que l'abondance temporelle est fortement influencée par les embarcations effectuant le trajet entre Saint-François et Petite-Terre entre 8h et 9h30 le matin et entre 16h et 17h l'après-midi. L'abondance relative est plus importante à l'ouest du côté de Saint-François et est composée dans une plus grande proportion d'embarcations à moteur.

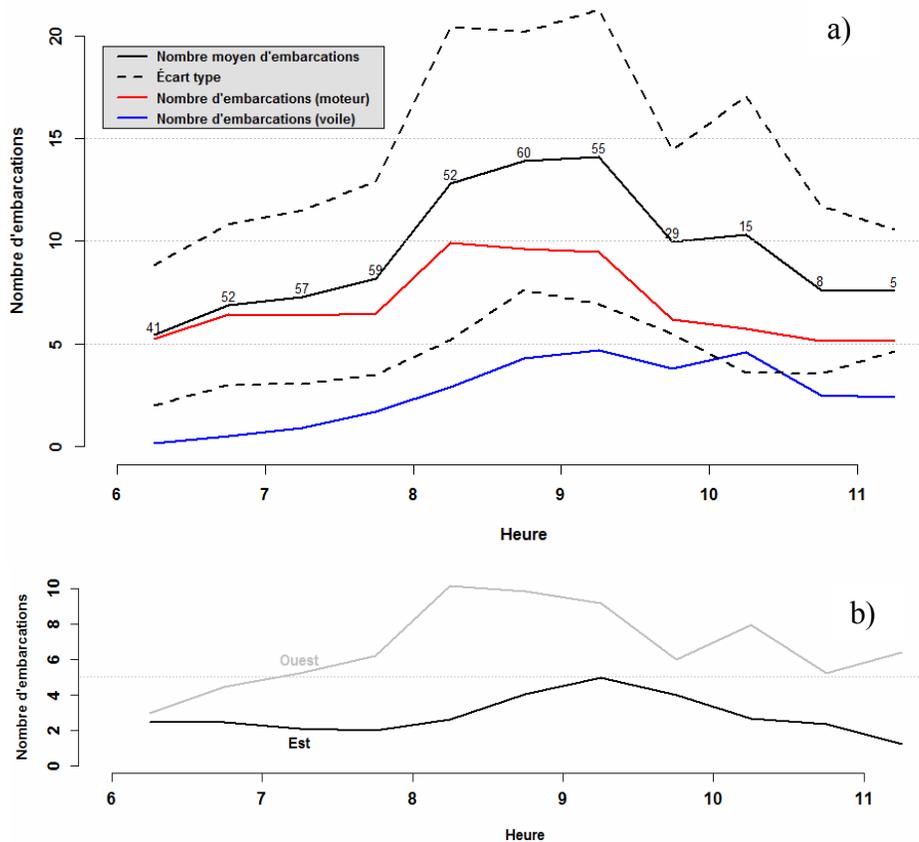


Figure 22 : Évolution horaire du nombre moyen d'embarcations dans la zone d'étude en 2012 et 2013 en avant-midi (n= 436, moyenne aux 30 minutes). Les nombres au dessus de la courbe noire indiquent l'effectif pour chaque moyenne. Le graphique a) représente toute la zone et le graphique b) distingue le nombre d'embarcations observées à l'est et à l'ouest du PO.

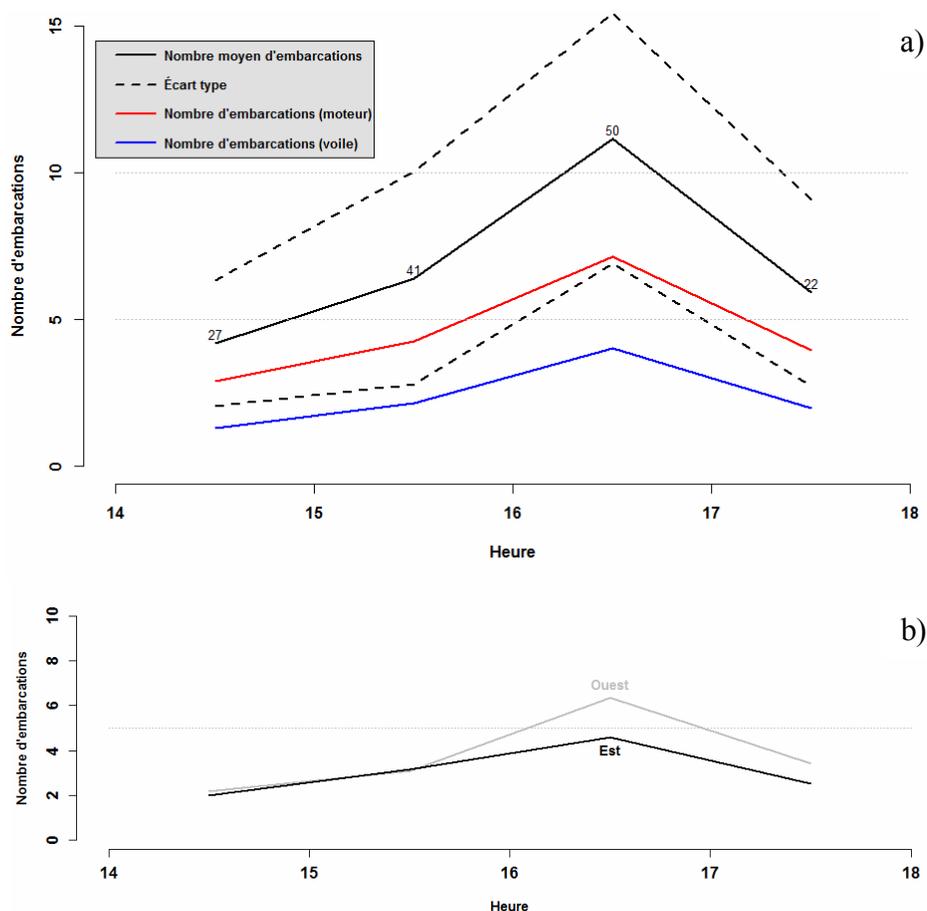
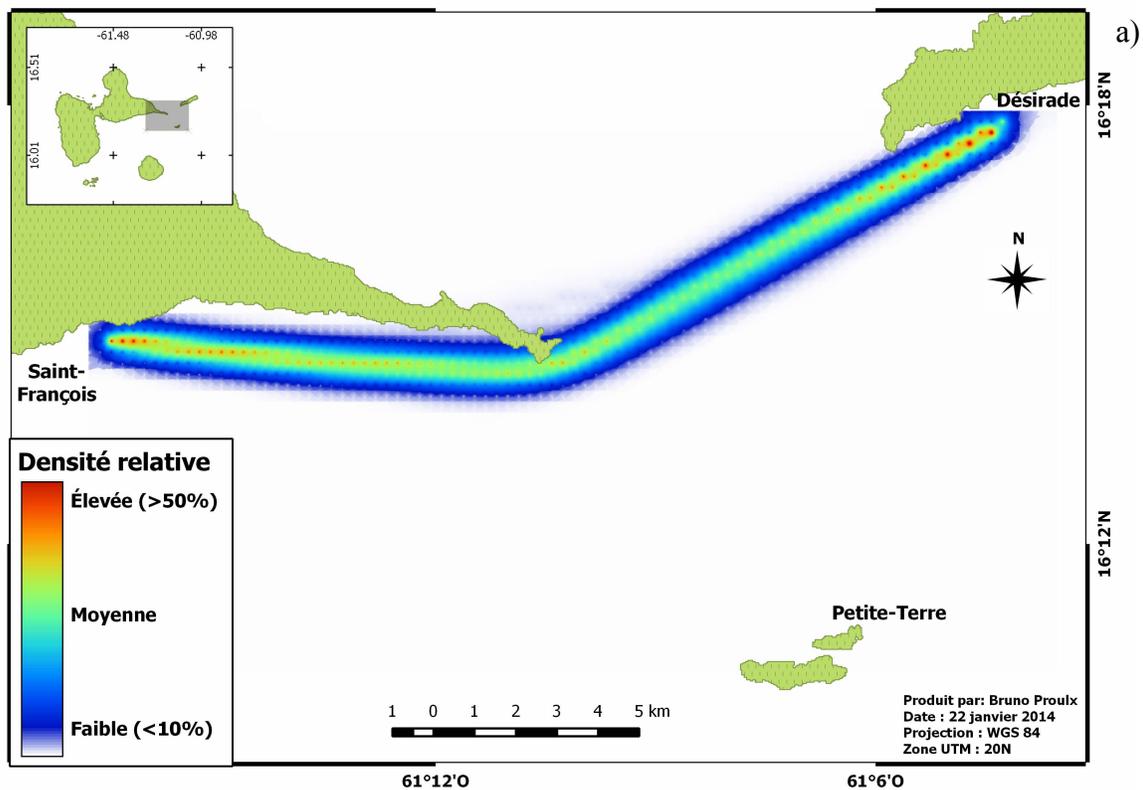


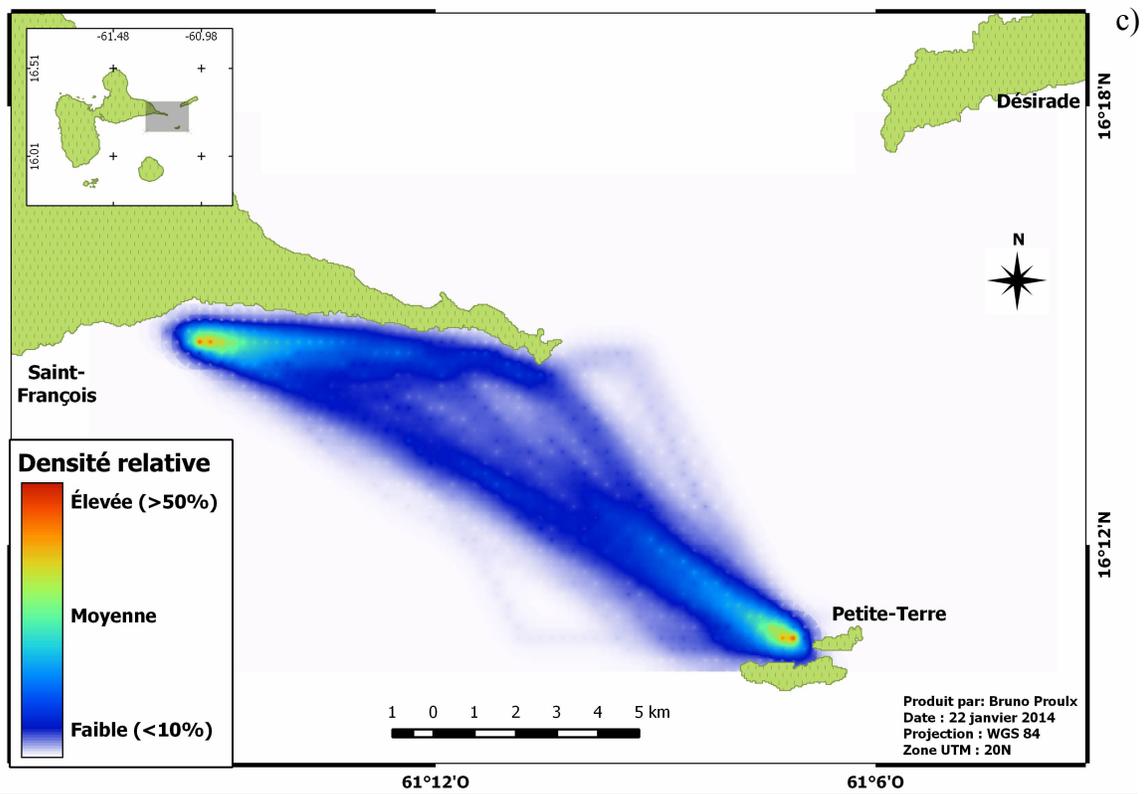
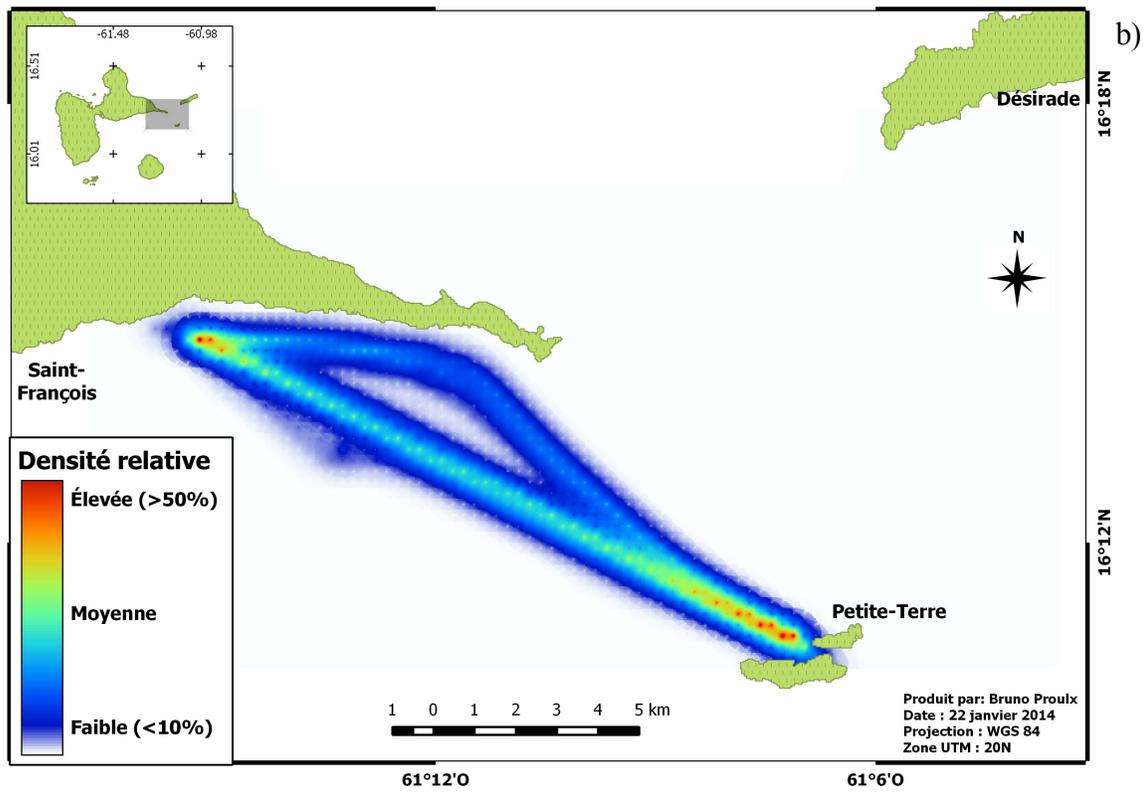
Figure 23 : Évolution horaire du nombre moyen d'embarcations dans la zone d'étude en 2012 et 2013 en après-midi (n=141, moyenne horaire). Les nombres au dessus de la courbe noire indiquent l'effectif pour chaque moyenne. Le graphique a) représente toute la zone et le graphique b) distingue le nombre d'embarcations observées à l'est et à l'ouest du PO.

La zone d'étude a été divisée selon 3 corridors principaux de navigation. Le premier comprend les trajectoires des navettes rapides entre Saint-François et La Désirade. Les deuxième et troisième corridors de navigation correspondent aux déplacements entre Saint-François et Petite-Terre, le premier pour les embarcations à moteur et le dernier pour les embarcations à voile. L'évaluation de la densité relative de la navigation dans la zone a été entreprise à partir des trajectoires des embarcations pour chacun des corridors (voir section 3.1 sur l'effort d'échantillonnage à ce sujet). La zone d'étude a été divisée en cellule de 250 m par 250 m. Cette résolution a été choisie pour représenter fidèlement la densité générale de la navigation sans être influencée par les trajectoires individuelles ni par l'incertitude sur les mesures de positions (voir section 2.6). Pour chacun des

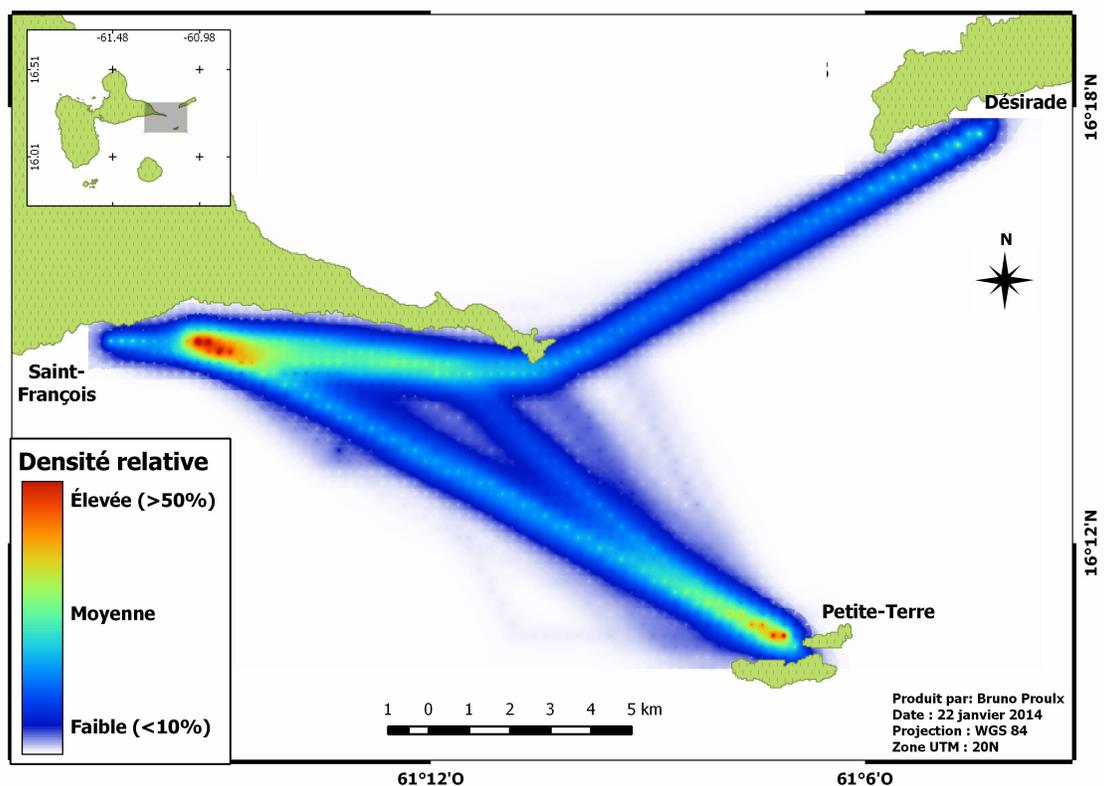
corridors de navigation, la longueur des lignes de trajectoires comprises dans chacune des cellules a été calculée (David *et al*, 2011). Cette longueur a ensuite été ramenée en densité relative en divisant par la longueur maximale obtenue pour chaque corridor. La densité relative pour tous les corridors combinés a été obtenue en pondérant chaque corridor par l'équivalent jour avant de les sommer et de ramener le résultat en densité relative comme précédemment. Le résultat final, présenté aux Cartes 12 et 13, a été obtenu par krigeage ordinaire pour en faciliter la représentation et la lecture. Noter que l'échelle relative de densité a été bornée à 50% de la densité relative maximale.



Carte 12 : Densité relative de la navigation obtenue par krigeage ordinaire pour les corridors des navettes (a), des croisiéristes à moteur (b), des croisiéristes à voile (c). La borne supérieure de l'échelle relative a été fixée à 50% de la densité relative maximale.

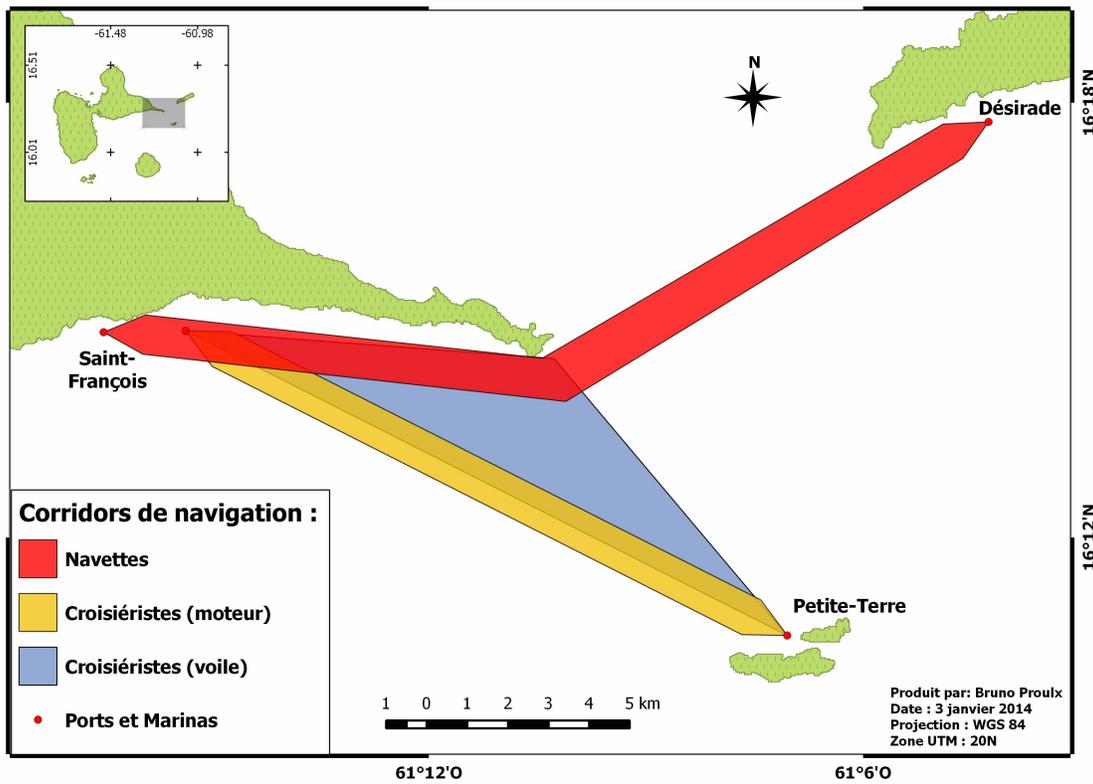


Carte 12 : Suite.



Carte 13 : Densité relative de la navigation obtenue par krigeage ordinaire pour toutes les embarcations. La borne supérieure de l'échelle relative a été fixée à 50% de la densité relative maximale.

Pour donner un ordre de grandeur, la borne de 50% de densité relative de la navigation pour chacun des corridors individuels (Carte 12) représente 4 à 5 passages quotidiens ou plus et pour tous les corridors de navigation combinés (Carte 13), cela représente 10 passages quotidiens ou plus. Ces cartes montrent que les navettes empruntent un corridor relativement étroit où la densité de la navigation est moyenne, soit environ 2 passages journaliers. Les croisiéristes à moteur empruntent une route principale en ligne droite ainsi qu'une route alternative, généralement utilisée lorsque les vagues sont importantes. Les croisiéristes à voile louvoient généralement pour se rendre à destination ce qui explique la densité plus faible et plus étendue. La densité de toutes les embarcations est plus importante à l'approche des ports et des marinas, et plus dense dans la zone utilisée par pratiquement toutes les embarcations, soit entre Saint-François et la Pointe-des-Châteaux. La Carte 14 présente un résumé plus schématique des trois corridors de navigation principaux.



Carte 14 : Représentation schématique des corridors de navigation dans la zone d'étude.

B) Exposition des baleines à la navigation et au risque de collision

La Figure 24 résume la proportion des remontées des groupes sélectionnés à l'intérieur de l'un ou l'autre des corridors de navigation. Le détail de chacune des remontées pour la plupart des groupes sélectionnés ainsi que leurs positions relatives par rapport aux corridors de navigation est présenté à l'Annexe 18. Une majorité des remontées se trouve à l'intérieur de l'un ou l'autre des corridors de navigation, ce qui s'explique en partie par la grande proportion de la zone d'étude couverte par ceux-ci. Il est à noter qu'une plus grande proportion des remontées des groupes accompagnés de baleineaux se trouve dans le corridor des navettes.

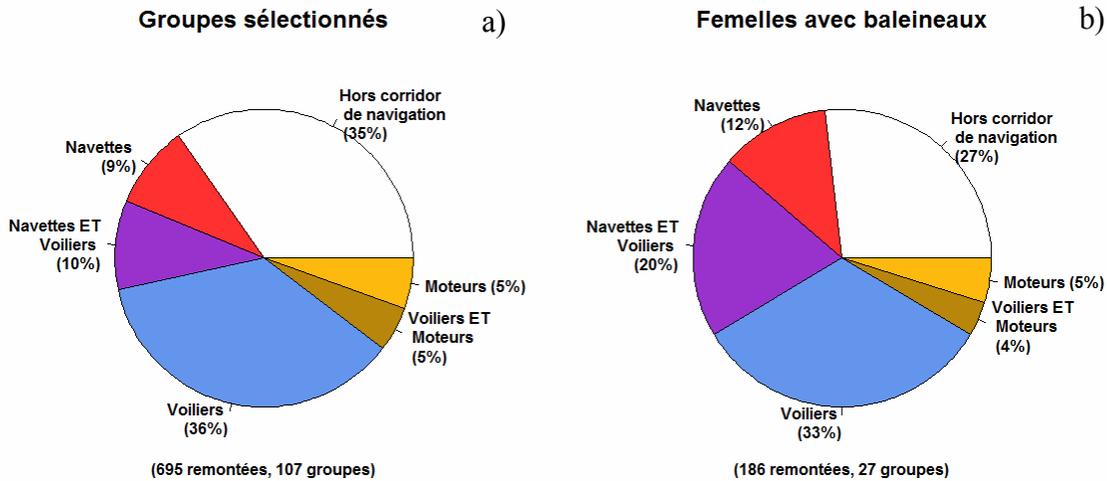
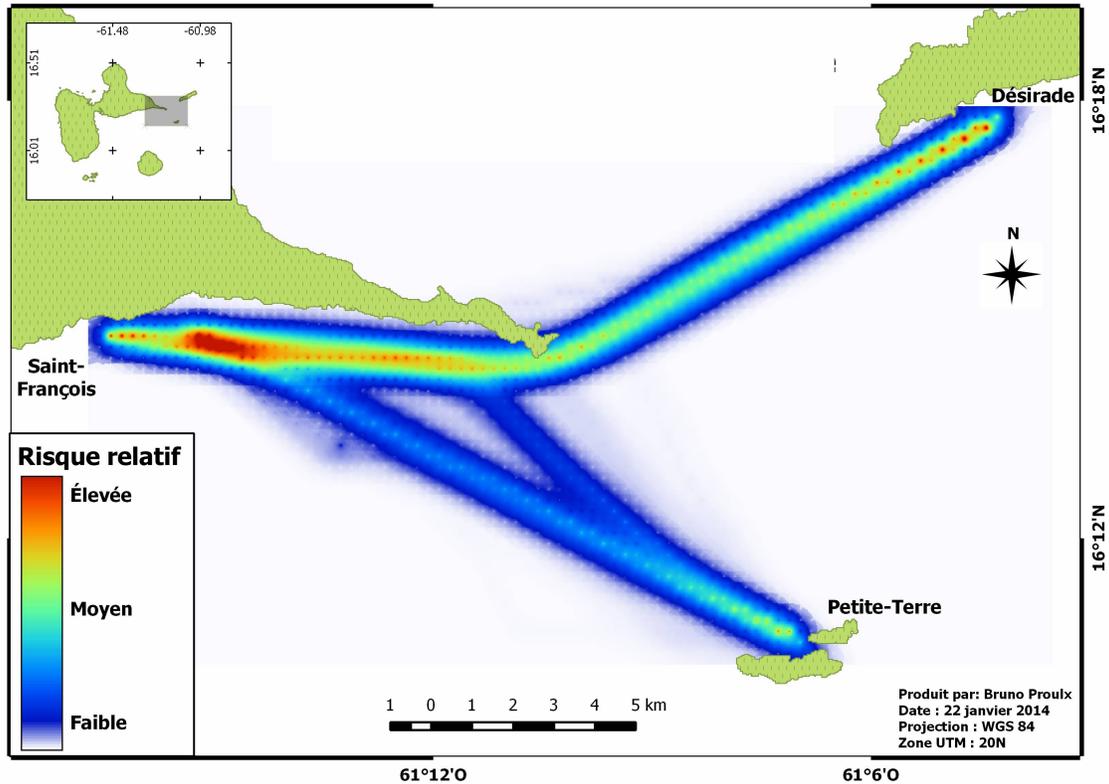


Figure 24 : Graphiques en pointes de tarte représentant la proportion des remontées des groupes sélectionnés (a) et des groupes accompagnés de baleineaux (b) selon leurs localisations dans un ou plusieurs corridors de navigation (voir la Carte 14).

Plusieurs méthodes existent pour évaluer le risque de collision entre les cétacés et les embarcations (par exemple : Chion *et al*, 2012; David *et al*, 2011). Normalement, la densité relative des cétacés dans une zone est considérée afin d’attester du risque de collision réel. La densité relative de baleine corrigée grâce à la fonction de détectabilité n’a pu être évaluée. Cette étape pourrait être faite ultérieurement. Un portrait du risque relatif de collision en considérant une densité relative de baleine uniforme, ce qui n’est évidemment pas le cas, est présenté ici.

L’estimation du risque est inspirée de la méthode de David *et al* (2011). Les valeurs servant au calcul sont disponibles au Tableau 14. Pour résumer la procédure, chacun des 3 corridors de navigation est d’abord doublement pondéré. En premier lieu pour l’effort d’échantillonnage, en multipliant la longueur de trajectoire par cellule par la valeur d’équivalent jour associée. En second lieu en multipliant cette valeur par le risque relatif de collision qui est fonction de la vitesse moyenne des embarcations fréquentant ce corridor de navigation. La Figure 9 représente donc une estimation plausible du risque de collision mortelle en fonction de la vitesse et est considérée comme telle dans cette analyse. Cette dernière étape augmente l’importance d’une cellule fréquentée par des embarcations allant à grande vitesse. Finalement, les trois couches sont additionnées et

normalisées afin d'obtenir un risque relatif de collision mortelle entre 0 (risque nul) et 1 (risque maximal) considérant autant la densité de la navigation que le risque relatif de collision mortelle. Le résultat est présenté à la Carte 15.



Carte 15 : Risque relatif de collision dans la zone d'étude pour toutes les embarcations commerciales. La borne supérieure de l'échelle relative a été fixée à 0,5 du risque relatif maximal.

Le risque relatif est élevé à l'approche de la marina de Saint-François et moyen pour tout le corridor des navettes. Le risque relatif de collision reste relativement faible pour les corridors des croisiéristes vers Petite-Terre, à l'exception de l'approche de la réserve naturelle où il est modéré.

C) Pression d'observation

Cette section dresse un aperçu de la pression d'observation des baleines dans la zone d'étude. Les Figures 25 et 26 présentent les remontées des groupes ayant été approchés en incluant le nombre et la distance minimale des embarcations pour chaque remontée. Un portrait de la proportion des remontées en présence d'embarcation est présenté à la

Figure 27. Trois situations réelles sont également présentées pour illustrer l'importance de mettre en place des mesures de protection dans la zone d'étude. Finalement, l'impact potentiel de l'approche d'embarcations sur le comportement est qualifié.

La distance entre chaque remontée des groupes sélectionnés et les embarcations présentes dans la zone d'étude a été obtenue à l'aide d'une fonction créée par l'auteur dans le logiciel R (R Development Core Team, 2005). D'abord, les coordonnées géographiques des embarcations et des baleines ont été converties en coordonnées en mètre par la fonction `geoXY` de la librairie de fonctions `SoDA` (Chambers, 2013). Une fonction de la coordonnée en X en fonction du temps a été créée pour chaque embarcation pour chacun des jours. Une fonction similaire a été créée pour la position en Y. Pour l'heure exacte de chacune des remontées des groupes sélectionnés, la position interpolée des embarcations dans la zone a été calculée. Une distance a ensuite été calculée entre la position de la remontée du groupe sélectionné et la position interpolée de toutes les embarcations dans la zone. Ces distances ont été utilisées pour produire les Figures 25, 26 et 27.

La zone d'étude n'est pas visée, pour le moment, par une activité commerciale d'observation des cétacés. Seule l'association *Stenella* effectue annuellement, depuis 2013, de 4 à 6 sorties de découverte du milieu marin avec observation des baleines. Ces sorties effectuées parallèlement au programme de recherche de l'association, permettent entre autres de faire une campagne de photo-identification, de valider la présence de baleineaux et de mâles chanteurs des groupes observés, en plus d'avoir une plateforme de recherche effectuant des approches en accord avec les règles établies dans le sanctuaire Agoa (Arrêté préfectoral – 2013-065-007, 2013). Cette embarcation est loin d'être la seule à approcher les baleines à bosse dans la zone d'étude. Plusieurs groupes sélectionnés ont été approchés, principalement par les embarcations commerciales fréquentant le secteur et décrites à la section précédente. Certaines approches respectaient plus ou moins les règles établies dans le sanctuaire (Arrêté préfectoral – 2013-065-007, 2013).

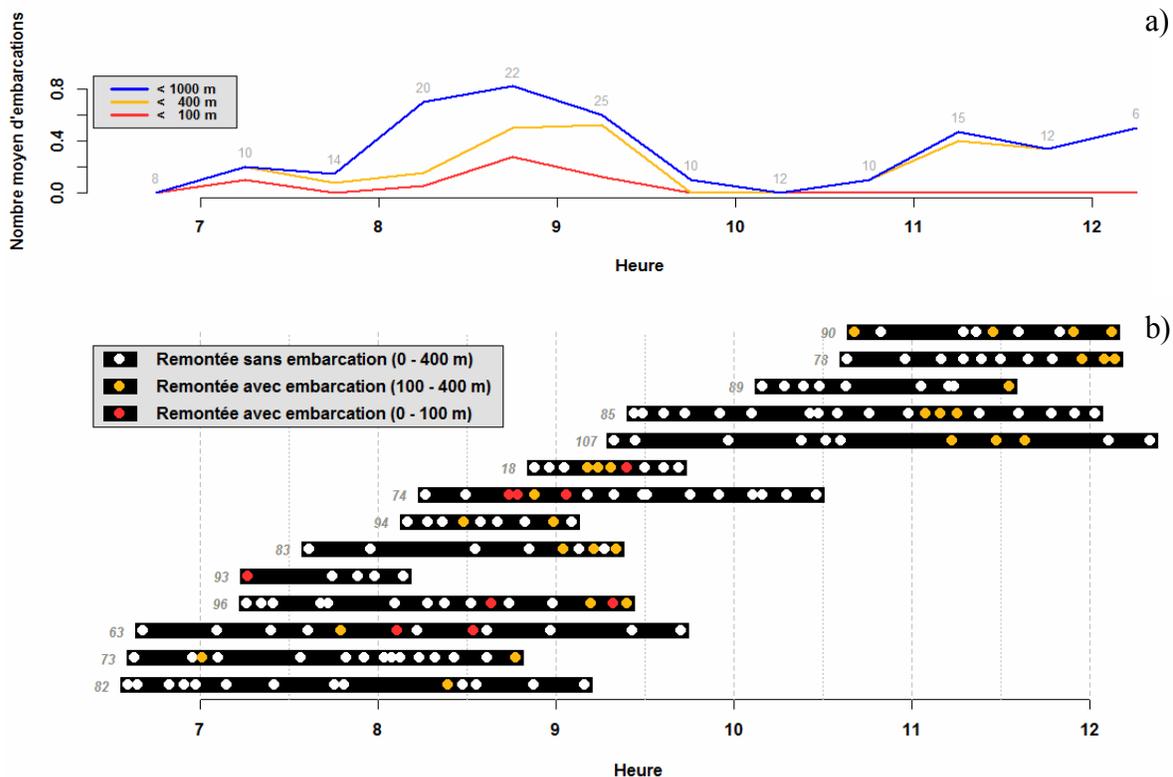


Figure 25 : Nombre moyen d'embarcations (calculé aux 30 minutes) dans une circonférence de 100, 400 et 1000 mètres des groupes approchés en avant-midi (a). Le nombre au dessus de la ligne bleue indique le nombre de remontées disponibles pour calculer la moyenne. Sommaire des remontées des groupes observés en avant-midi (n=14) ayant été approchés à un moment par une ou plusieurs embarcations (b). Les chiffres au début des lignes noires représentent l'identifiant des groupes.

La Figure 25 indique que les groupes sont approchés principalement entre 8h et 9h30 en avant-midi et que le nombre d'embarcations est généralement faible. Le nombre de remontées en présence d'embarcation à 400 mètres ou moins est relativement faible et ne comprend habituellement qu'une faible proportion de toutes les remontées d'un groupe approché. La Figure 27 résume ces résultats en mettant en lumière que plus de 60% des remontées des groupes ayant été approchés et plus de 80% des remontées de tous les groupes sont exemptes d'embarcation dans un rayon d'un kilomètre du groupe.

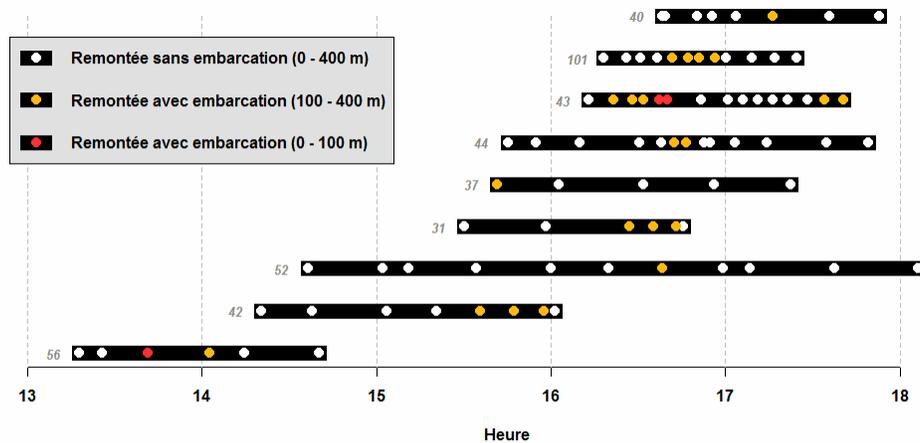


Figure 26 : Sommaire des remontées des groupes observés en après-midi (n=9) ayant été approchés à un moment par une ou plusieurs embarcations. Le chiffre au début des lignes noires représente l'identifiant du groupe.

Bien que le nombre d'approche soit relativement faible, certaines d'entre elles pourraient être qualifiées d'agressives ou encore potentiellement dangereuses pour les baleines, car elles résultent parfois d'une non détection du groupe par l'embarcation en approche. Trois exemples ont été choisis et détaillés dans l'Encadré 4 puis illustrés à la Carte 16. Le premier exemple présente un cas où une approche selon les règles n'induit pas, à notre avis, de risque pour l'animal et aucun changement significatif de comportement n'a été noté. Les deux autres situations présentent des approches à grande vitesse, la première délibérée et la seconde fortuite, toutes deux ayant potentiellement mis en danger les animaux approchés. Ces 3 situations mettent en lumière que certaines approches peuvent menacer les baleines qui fréquentent la zone d'étude, particulièrement les baleineaux, que l'approche soit délibérée (situation #2) ou fortuite (situation #3). D'un autre côté, une approche respectueuse et en accord avec les règles établies dans le sanctuaire Agoa (situation #1) aurait sensiblement moins d'impact sur le comportement, bien que l'absence d'impact ne puisse être généralisée à partir d'un seul exemple.

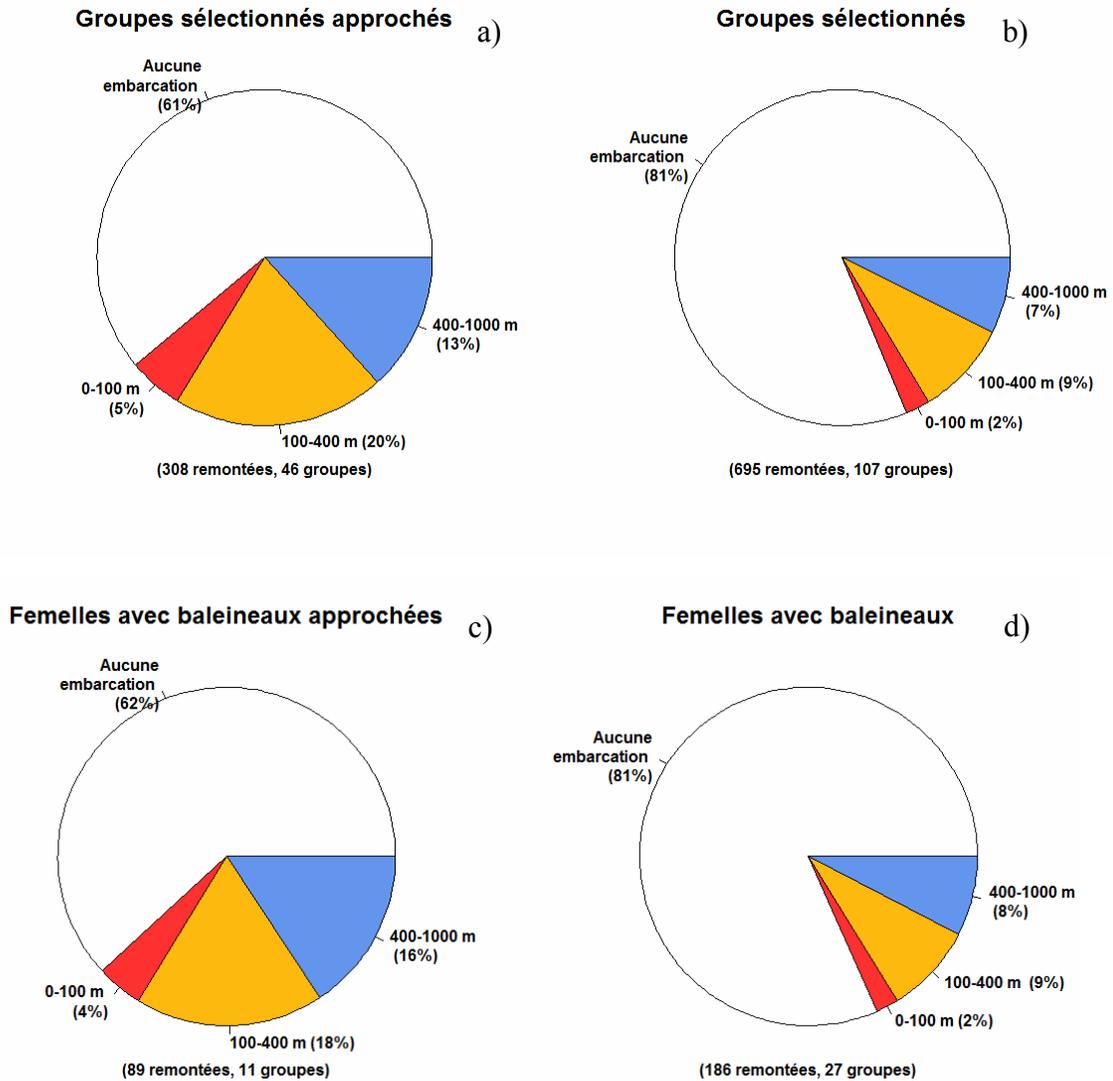


Figure 27 : Graphiques en pointes de tarte représentant la proportion des remontées des groupes sélectionnés (a-b) et des groupes accompagnés de baleineaux (c-d) ayant été approchés (a-c) et pour tous les groupes (b-d) selon la présence d'embarcation(s) dans un rayon de 0-100, 100-400 et 400-1000 mètres.

Encadré 4 : Description des situations d'approche 1, 2 et 3, incluant l'identifiant du groupe et la durée totale du suivi. Ces situations sont illustrées à la Carte 16.

Descriptions des situations

Situation #1 : Approche délibérée à faible vitesse

Identifiant : 107 Date : 26-04-2013 Durée : 3h15 Composition : 1 mâle

L'individu était relativement stationnaire au moment de l'approche. L'embarcation est entrée dans la zone d'observation à faible vitesse vers 11h et y est restée pratiquement stationnaire jusqu'à 11h45, moment du départ. Un hydrophone a permis de confirmer la présence d'un mâle chanteur. L'individu a été observé par l'embarcation lors de 3 séquences respiratoires pour une durée d'environ 30 minutes. Le mâle est resté dans la même zone sans changement apparent de comportement, et ce jusqu'à 45 minutes après le départ de l'embarcation.

Situation #2 : Approche délibérée à grande vitesse

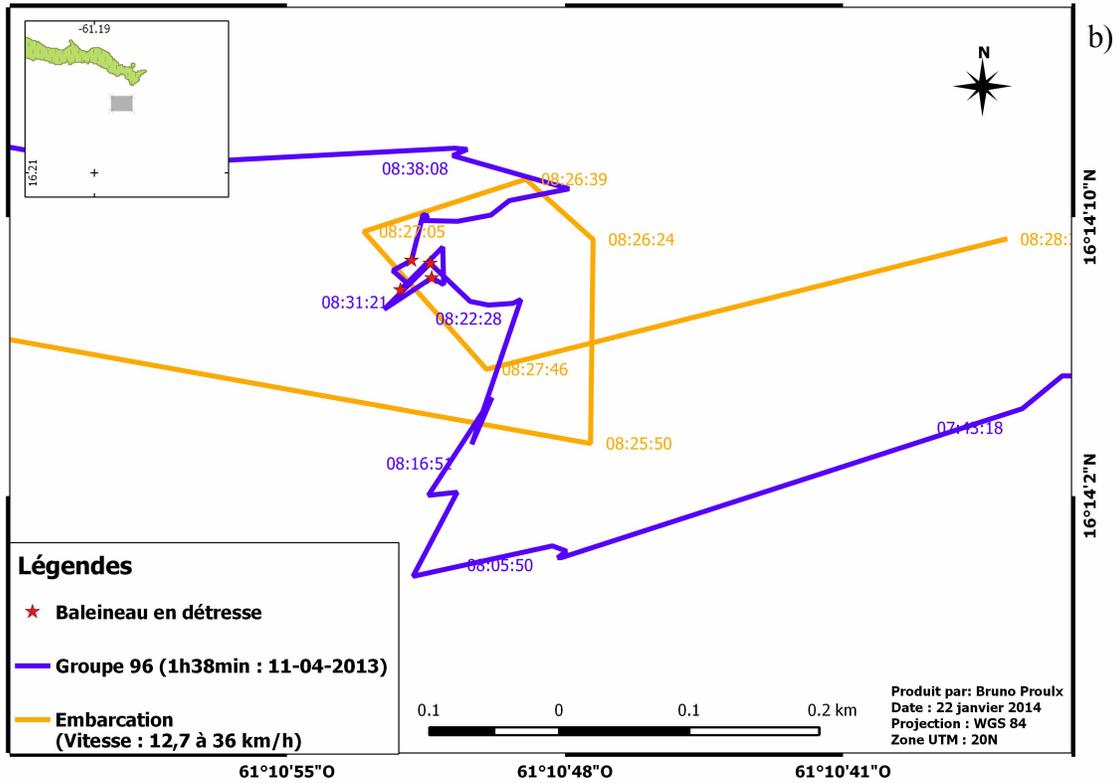
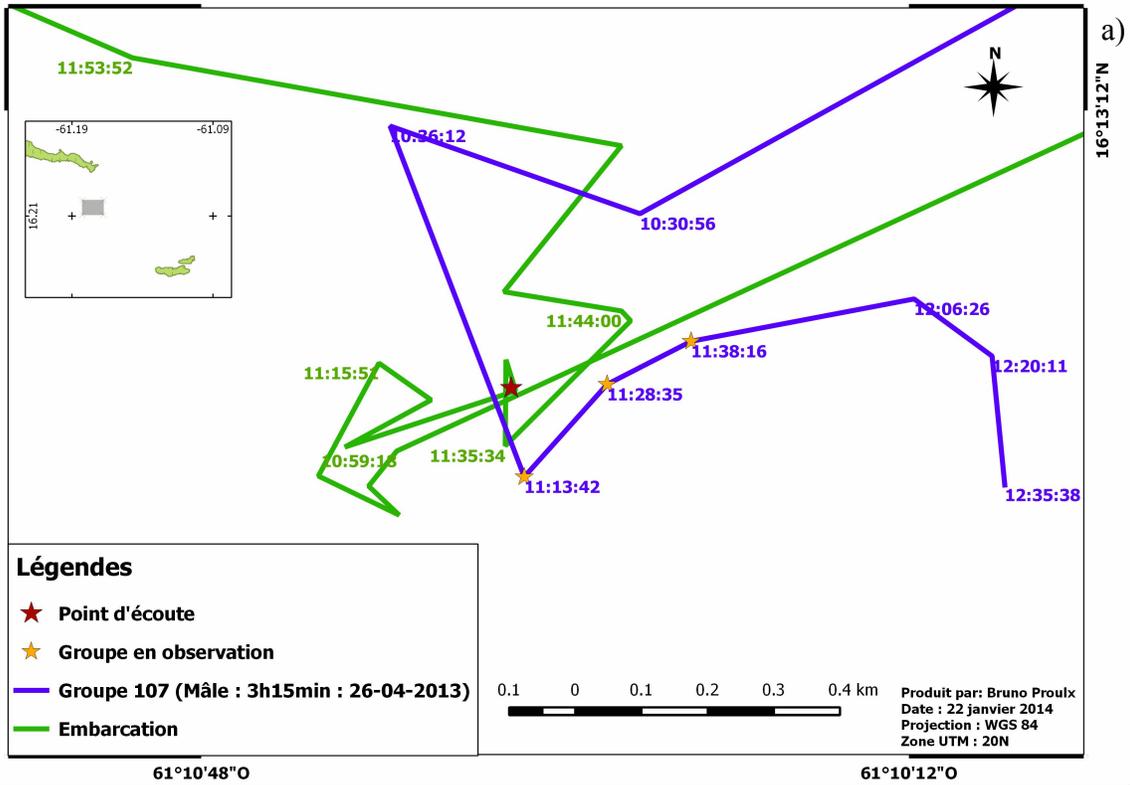
Identifiant : 96 Date : 11-04-2013 Durée : 1h38 Composition : MOCE

Une femelle accompagnée de son baleineau sont passés à proximité du point d'observation en se dirigeant vers l'ouest. L'escorte accompagnant le groupe a été confirmée après l'approche présentée ici. Une grande embarcation rapide se dirigeant vers l'est est passée à proximité du groupe. En moins de 3 minutes et sans diminuer sensiblement sa vitesse, le navire a décrit un cercle d'un rayon d'environ 100 mètres autour du groupe avant de poursuivre sa route. 4 minutes après le début de cette approche, le baleineau a été observé sur le rostre de sa mère, les pectorales sorties de l'eau. Il a été conclu qu'il semblait en détresse. Le baleineau se remis après quelques minutes et le groupe continua sa route. Une équipe sur l'eau confirma qu'il ne semblait pas y avoir de blessure apparente sur le baleineau.

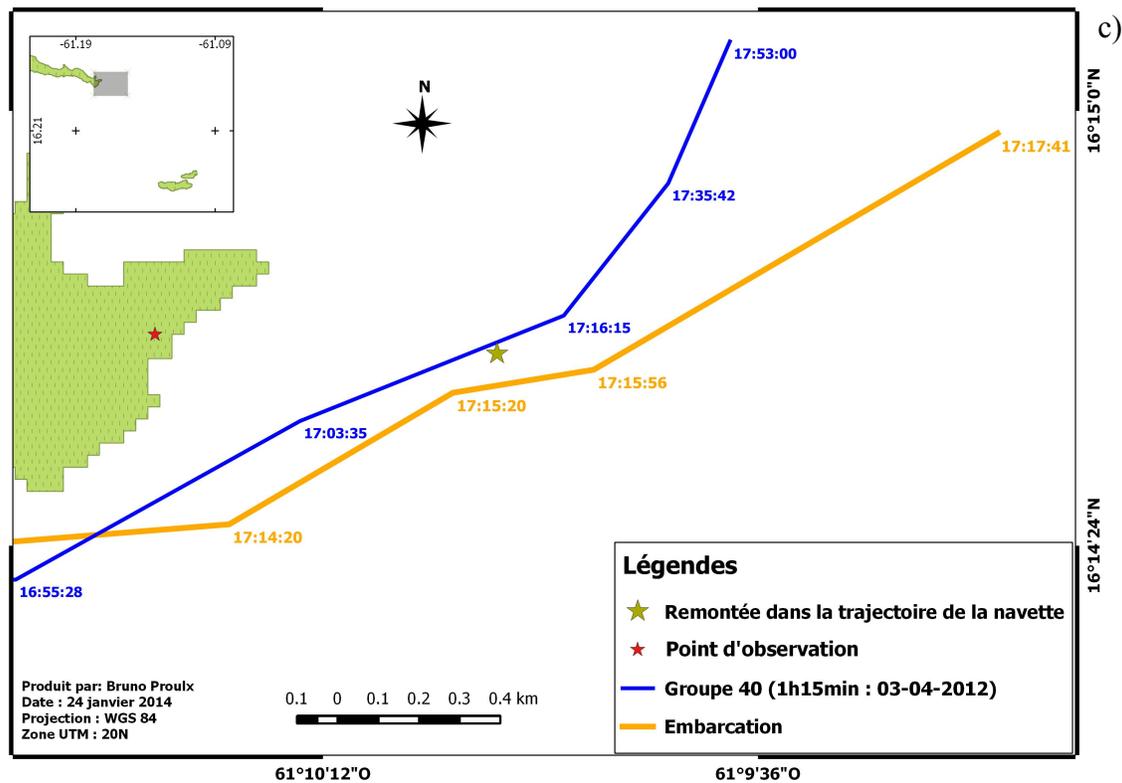
Situation #3 : Approche fortuite à grande vitesse

Identifiant : 40 Date : 03-04-2012 Durée : 1h15 Composition : 1 adulte

Le groupe se compose d'un adulte seul issu d'un groupe de 2 individus préalablement suivi. L'animal est passé devant le site d'observation se dirigeant vers l'est. Vers 17h15, un changement brusque dans la trajectoire d'une grande embarcation rapide attira l'attention des observateurs. Il a été constaté que l'animal avait fait surface dans la trajectoire du navire forçant celui-ci à modifier rapidement sa trajectoire afin d'éviter la collision.



Carte 16 : Situations d'approche 1(a), 2(b) et 3(c) décrites à l'Encadré 4.



Carte 16 : Suite.

L'impact de l'approche d'embarcations sur le comportement des baleines est difficile à attester avec certitude. La variation de comportement est loin de présenter des ruptures franches entre les différentes variables comportementales, mais se trouve plutôt dans un *continuum* de comportement possible avec des transitions subtiles entre les « états » comportementaux. De plus, il est possible que la réaction des baleines diffère selon l'individu et que différentes stratégies d'évitement puissent avoir des effets contraires sur les variables utilisées dans les modèles de prédiction. Finalement, l'effectif pour évaluer l'impact sur le comportement de l'approche d'embarcation est habituellement faible, ce qui rend difficile de porter des conclusions sur l'espèce après l'étude de quelques groupes.

Seulement 6 groupes ont été sélectionnés pour évaluer l'impact de l'approche d'embarcation sur le comportement des baleines, et ce avant, pendant et après l'approche.

Le Tableau 14 présente un résumé de l'effectif disponible pour cette analyse. En raison de l'effectif faible et des résultats de l'analyse préliminaire, les résultats bruts seront présentés brièvement dans le but d'alimenter la discussion sans tirer de conclusion définitive, mais en ouvrant la porte à des réflexions et des pistes de solution pour en arriver à mieux décrire l'impact anthropique sur le comportement des baleines. La Figure 28 présente la variabilité du comportement pour les différentes classes d'approche ainsi que la moyenne pour chacun des groupes considérés dans cette analyse. L'examen de ces graphiques laisse croire que l'étendue des valeurs de variation de la vitesse (Figure 28c) et d'orientation (Figure 28e) diminue sensiblement entre avant et après l'approche. Il est à noter que certains groupes semblent réagir plus fortement à l'approche d'embarcation, particulièrement pour la vitesse pour les groupes 101 et 107. Ces remarques restent qualitatives pour le moment.

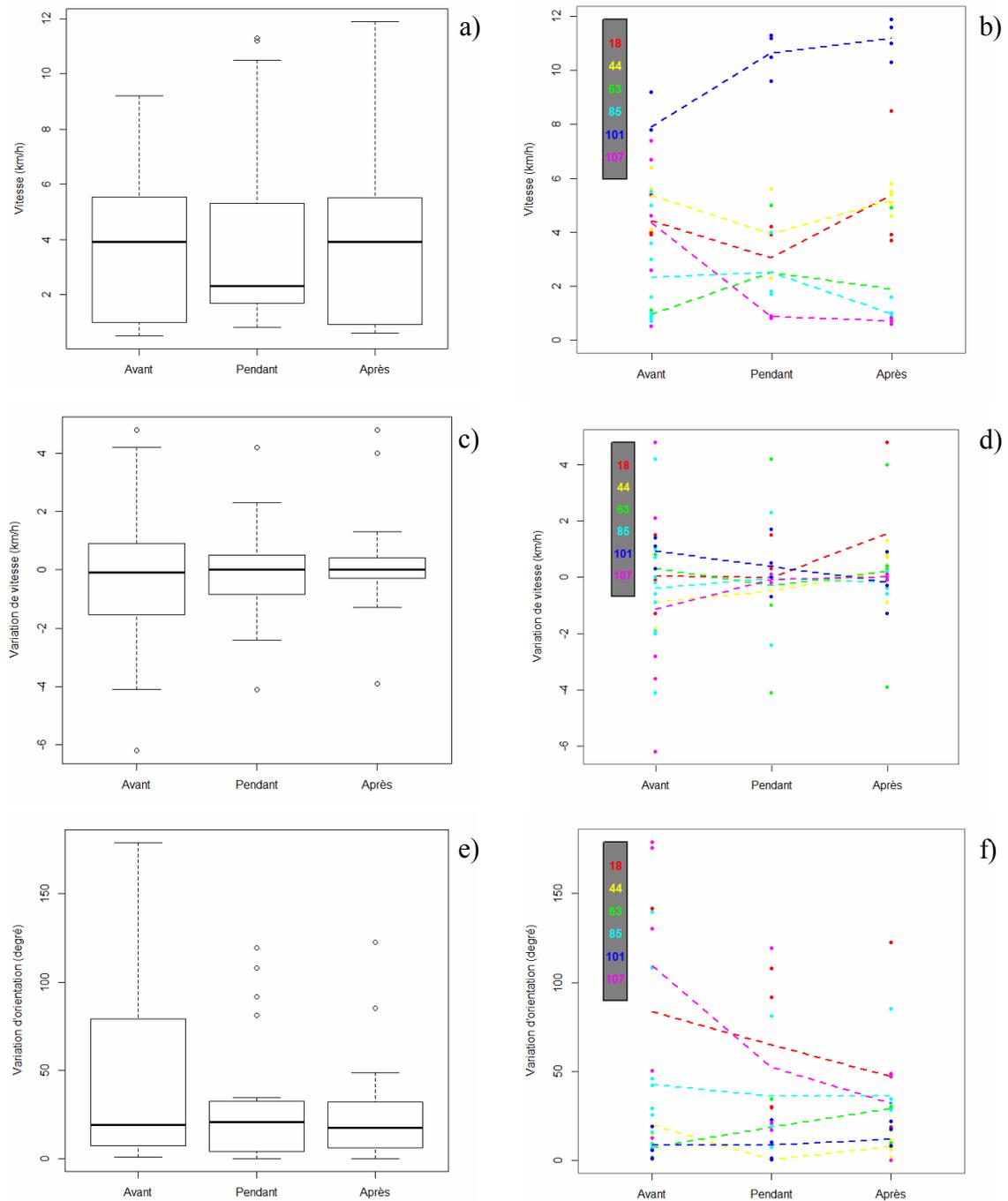


Figure 28 : Graphiques en boîtes à moustaches (a-c-e) et moyenne (en pointillée) du comportement (b-d-f) pour les variables comportementales de vitesse (a-b), de variation de vitesse (c-d) et de variation d'orientation (e-f) pour les trois classes d'approche (avant, pendant et après). La légende des graphiques b, d et f indique l'identifiant et la couleur associés pour chacun des groupes considérés pour cette analyse (voir le Tableau 14).

CHAPITRE 4 : DISCUSSION

4.1 Caractérisation de la population et utilisation de l'habitat

A) Abondance relative temporelle

L'abondance relative dans la zone d'étude est sujette à plusieurs biais, dont celui de la détectabilité et de l'habileté de l'équipe de terrain à repérer efficacement et à identifier la composition des groupes dans le secteur. La détectabilité n'affecte pas la qualité des données obtenues sur le mouvement des baleines, car la sélection des groupes inclus dans cette analyse a été conservatrice et n'a considéré que ceux dont aucun doute ne subsistait quant à son identité.

La période de fréquentation maximale des eaux guadeloupéennes par les baleines à bosse s'étend de la fin février jusqu'au début du mois de mai, avec une abondance maximale vers la mi-avril. Ce patron de fréquentation semble différer de ce que l'on retrouve en République Dominicaine (Mattila *et al*, 1994; Bétancourt, 2012) où l'abondance culmine au mois de février et semble diminuer dès le mois de mars.

L'interprétation des facteurs pouvant influencer l'abondance relative doit se faire avec précaution. Ces résultats seront considérés comme préliminaires à une analyse ultérieure plus poussée. Tout d'abord, la différence entre 2012 et 2013 est très marquée. Le nombre moyen d'observateurs (\pm écart type) en 2012 était de 2,48 ($\pm 0,67$) contre 3,35 ($\pm 1,11$) en 2013. On constate qu'en 2012, le nombre d'observateurs influence le nombre de groupes et d'individus repérés. Cela implique que la détectabilité était fortement influencée par l'équipe en place. Le nombre plus grand d'observateurs en 2013 et l'expérience de ceux-ci limitent le nombre de variables significatives au jour de l'année et à l'indice météo pour le nombre de groupes et d'individus observés. En regardant de plus près les données brutes, on constate que la météo a été plus mauvaise durant la période d'abondance maximale de baleines au mois d'avril 2013, ce qui explique que ce facteur apparaisse comme significatif et que le coefficient soit positif. Il est donc possible de conclure qu'une équipe plus grande et plus expérimentée fournit des résultats plus fiables sur l'abondance de baleines dans la zone d'étude. En observant les modèles considérant les

deux années, on constate une diminution du nombre de groupes et d'individus avec l'heure en avant-midi, cela confirme notre ressenti sur le terrain. Ersts et Rosenbaum (2003) ont confirmé que les baleines à bosse avaient tendance à s'éloigner de la côte durant le jour, ce qui expliquerait la diminution d'abondance en fonction de l'heure en avant-midi. L'indice du nombre d'embarcations semble influencer à la baisse le nombre de groupes et d'individus dans la zone d'étude pour le modèle global. Cependant, affirmer que le nombre d'embarcations influence l'abondance relative aurait de grandes conséquences sur la connaissance de l'espèce et sur les mesures de conservation pouvant éventuellement être mises en place. En raison de la grande différence entre les deux années d'étude et du fait que cette conclusion soit basée sur seulement deux années, la prudence sera privilégiée quant à cette interprétation. Une ou deux années de terrain supplémentaires seraient nécessaires avant d'affirmer que le nombre d'embarcations influence l'abondance relative des baleines dans ce secteur. Il sera également envisagé d'exclure les données de 2012 en raison de la forte influence des observateurs sur les variables réponses pour cette année. Cette question fera l'objet d'une attention prioritaire dans les développements futurs. Cette analyse pourrait être reconduite en considérant d'autres variables météorologiques, comme les conditions météorologiques des jours précédents ainsi que l'orientation et l'amplitude des vagues.

En définitive, l'abondance de baleines à bosse en Guadeloupe diffère des zones plus au nord et est maximale au début d'avril. Celle-ci est influencée par différents facteurs, dont le nombre d'observateurs, l'heure de la journée et possiblement la météo et le nombre d'embarcations.

B) Composition des groupes

Il y a des différences entre 2012 et 2013 quant à la composition des groupes. Cela s'explique en partie par l'expérience de l'équipe d'observateurs. La composition des groupes, principalement pour les SOLO et les DUO, a mieux été établie en 2013. Il faut donc se garder d'interpréter la différence entre les SOLO et les DUO comme une différence dans la composition de la population entre ces deux années. Par contre, les compositions de groupes TRIO, MOCA et MOCE ne présentent que de faibles variations

entre les deux années et ont été établies avec plus de certitude et uniformément pour les deux années de l'étude.

D'après ces évaluations, une estimation conservatrice de la proportion de groupes accompagnés de baleineaux serait de 12%, avec 21% en mars. Une estimation moins conservatrice, en se basant sur les groupes sélectionnés, mènerait ce pourcentage à 27%. En considérant l'estimé conservateur, cette zone pourrait être considérée comme importante pour les femelles accompagnées de baleineaux. D'autant plus que le pourcentage de baleineaux est d'environ 7,7% pour les deux années. En comparant ces données avec celles récoltées dans un lagon de Nouvelle-Calédonie (Garrigue *et al*, 2001) considéré comme zone de pouponnière et d'accouplement, la zone d'étude est très similaire et il s'agit sûrement d'une pouponnière pour l'espèce, du moins à proximité du point d'observation et au mois de mars.

D'un autre côté, les groupes accompagnés de baleineaux (MOCA et MOCE) semblent être plus abondants en fin de saison de reproduction au niveau du Brésil (Morete *et al*, 2007), de l'Australie (Franklin *et al*, 2011) et de la Nouvelle-Calédonie (Garrigue *et al*, 2001), ce qui ne semble pas être le cas pour cette zone d'étude. Effectivement, la proportion de groupes accompagnés de baleineaux est beaucoup plus faible au mois d'avril (6%) qu'au mois de mars (21%). Cela pourrait s'expliquer en partie par l'accroissement de taille des baleineaux les rendant plus difficiles à détecter, bien qu'une proportion presque 4 fois inférieures en avril semble indiquer une tendance qui va au-delà de la non-détection des baleineaux. Cela indiquerait une utilisation de la zone par ces groupes qui diffère des autres zones de reproduction citées précédemment. Il est impossible pour l'instant d'en avancer les raisons, d'autres études devront s'attarder sur cette question.

C) Distribution, habitat et densité

La qualité des données sur les trajectoires reste similaire entre les deux années, même si on constate qu'en 2013, avec moins de temps de vigie, le nombre total de groupes suivis est proportionnellement plus élevé qu'en 2012 et que la durée moyenne du suivi des

groupes est plus grande en 2013, signe que l'équipe de terrain a gagné en efficacité et en qualité d'observateur. L'analyse de la densité et de la convergence des trajectoires nous informe que des patrons de déplacement sont présents dans la zone d'étude. Les trajectoires convergent vers trois zones relativement petites, soit une à l'est du point d'observation, une à l'ouest et une au sud. Ces zones semblent correspondre à des dépressions d'environ 40 mètres de profondeur, entourées de zones moins profondes. Il est possible que la configuration du fond concentre à certains endroits les trajectoires des baleines qui ne semblent pas s'aventurer dans les secteurs ayant moins de 25 mètres de profondeur. La zone de concentration des trajectoires se trouvant au sud est à proximité d'une « crête » s'élevant à environ 20 mètres sous la surface entre deux zones plus profondes. La largeur minimale de cette crête correspond justement avec une zone de concentration des trajectoires, suggérant une zone de passage « obligé » pour l'espèce minimisant le temps passé à faible profondeur. La densité des trajectoires sont plus denses de part et d'autre de la zone profonde au sud-est du point d'observation. Les groupes semblent suivre la pente de chaque côté de cette dépression. Il est trop tôt pour en conclure que cette interprétation est la bonne, mais il s'agit d'une interprétation plausible et elle gagnerait à être investiguée plus en avant.

La distribution des observations n'est pas uniforme et le fait de ne pas pouvoir calculer la fonction de détectabilité en limite l'interprétation. Les observations, autant le nombre de groupes et le nombre de remontées (Figure 19) que les zones de concentration de trajectoires (Cartes 10 et 11), sont situées à proximité du point d'observation et diminuent grandement au-delà de 4 km. Les 3 zones de concentration de trajectoires correspondent aux zones de concentration des groupes et des remontées. À la lumière de ces informations et en considérant une détectabilité normale, le secteur au sud de la Pointe-des-Châteaux serait une zone de passage et de concentration des baleines. Une analyse en considérant la détectabilité pourrait corroborer ce fait et permettrait d'en savoir plus sur la relation entre la densité de baleines et l'habitat.

D) Analyse des trajectoires

Les groupes sélectionnés pour l'analyse des trajectoires et du comportement semblent se diriger dans l'ensemble dans le sens du courant dominant à l'ouest du point d'observation (c'est-à-dire du côté de Saint-François), mais à vitesse moindre que celui-ci. Cela suggère que les baleines se laissent porter par le courant, tout en nageant légèrement à sens contraire pour se maintenir dans cette zone. La vitesse nette orientée ne semble pas différer entre mars et avril, suggérant une utilisation uniforme de la zone durant toute la saison. Le mouvement des mâles supposés ne semble pas significativement orienté vers un azimut. Il serait intéressant de corroborer ce fait en considérant seulement des groupes dont la présence de mâles chanteurs est confirmée. Il serait alors possible de supposer que la zone d'étude est utilisée différemment par les mâles chanteurs que par les femelles accompagnées de baleineaux. La vitesse nette orientée était significativement différente pour les femelles accompagnées de baleineaux que pour les autres groupes. Ces groupes semblent nager à sens contraire du courant dominant à l'ouest de la zone d'étude. L'habitat semble être utilisé à d'autres fins par ces groupes, bien que l'analyse ne permette pas de donner d'explication à ce sujet. Trois hypothèses seront avancées ici pour expliquer cette différence. Premièrement, il serait envisageable que les femelles se dirigent vers d'autres zones plus propices à se reposer avec le baleineau. Deuxièmement, il est possible qu'elles nagent contre le courant le jour, pour se laisser dériver la nuit. Le suivi terrestre de nuit étant pratiquement impossible, il sera difficile de valider cette hypothèse. Finalement, il est possible que les femelles gardent le baleineau en mouvement dans des zones relativement abritées afin de le préparer à la migration imminente vers les zones d'alimentation du nord. Cette hypothèse expliquerait également la présence des baleines plus tard dans la saison par rapport à la République Dominicaine et la faible présence de baleineaux en avril. Encore une fois, il n'est pas possible de choisir entre l'une ou l'autre de ces interprétations bien que cela mette en lumière une composante de l'écologie de l'espèce qui n'a jamais été décrite, du moins à notre connaissance.

En considérant la vitesse nette orientée, la distribution des trajectoires et leurs zones de convergence, le secteur de la Pointe-des-Châteaux n'est probablement pas une zone de migration, mais sûrement une zone de passage pour l'espèce.

4.2 Caractérisation des pressions anthropiques

À la lumière des nouvelles connaissances sur l'espèce exposées à la section précédente, celles-ci seront mises en parallèle avec les connaissances sur la navigation dans la zone d'étude ainsi que sur les interactions (*whale watching*) observées sur certains groupes de baleine. Les gestionnaires du sanctuaire Agoa pourront évaluer les mesures de protection appropriées pour ensuite en informer les utilisateurs en considérant les compromis exposés dans le cadre conceptuel à la section 1.1. Des recommandations à ce sujet sont formulées en se basant sur des études antérieures et sur des mesures déjà implantées ayant menées à une meilleure protection des grands cétacés.

Tout d'abord, l'exposition des groupes aux activités de *whale watching* pourrait être qualifiée de modérée, avec 43% des groupes sélectionnés approchés à 400 mètres ou moins par une ou plusieurs embarcations, et ce pour environ le tiers des remontées. Par contre, les groupes observés passent une majorité de leur temps (c'est-à-dire 65% des remontées) à l'intérieur des corridors de navigation, les exposant ainsi aux collisions potentielles. Les femelles accompagnées de baleineaux passent près de 32% de leurs remontées à l'intérieur du corridor de navigation des navettes, celui-ci présentant le plus grand risque relatif de collision mortelle (Carte 15). Jensen et Silber (2003) ont démontré que la baleine à bosse était fréquemment sujette aux collisions (deuxième en importance après les rorquals communs). Laist *et al* (2001) ont également corroborés ce fait et mis en lumière que tous types de vaisseaux navigant sur l'eau pouvaient entrer en collision avec un grand cétacé, avec une incidence plus grande de blessures graves ou de mortalité pour les grands navires (>80 m) naviguant à grande vitesse (14 nœuds et plus). Vanderlaan et Taggart (2007) ont utilisés ces données historiques de collisions (n = 294) pour évaluer le risque de collision létale en fonction de la vitesse des embarcations (majoritairement de grande taille). Le Parc Marin du Saguenay-Saint-Laurent (PMSSL) au Québec (Canada) pourrait être cité en exemple pour les différentes mesures pouvant être prises afin de

concilier l'utilisation du milieu marin et l'observation des cétacés (*whale watching*) avec leur protection. Les pratiques en mer ont grandement évolué depuis la création du parc marin (Nadia Ménard, biologiste pour Parcs Canada au PMSSL, commentaire personnel) grâce à un mode de concertation des acteurs impliqués et du principe de cogestion de cette aire marine de conservation. Des mesures ont été implantées d'abord par voie législative (*Règlement sur les activités en mer dans le parc marin du Saguenay - Saint-Laurent*), puis par une voie moins officielle par la mise en place de mesures volontaires (ex : Parcs Canada, 6 juin 2013) et éducatives (ex : Alliance Éco-Baleine, 2011; ROMM, 2014). Une réglementation est déjà en place (Arrêté préfectoral, 2013-065-007 – Art. 3) au sein du sanctuaire Agoa quant à l'approche des cétacés. Des mesures supplémentaires pourraient être prises afin de réduire le risque relatif de collision dans des zones plus sensibles pour les baleines à bosse. Des mesures de réduction de vitesse ont permis de réduire les risques de collision avec la baleine noire de l'Atlantique Nord (*Eubalaena glacialis*) (Vanderlaan *et al*, 2008) et se sont avérées efficaces pour cette espèce (Laist *et al*, 2014). En se basant sur les zones à risque de collision (section 3.3), de la potentielle zone de convergence des trajectoires à la Pointe-des-Châteaux (section 3.2) de la proportion élevée de baleineaux dans la population (section 3.2) et du principe de précaution, une mesure de réduction de vitesse pour les navettes entre Saint-François et la Désirade pourrait permettre de réduire significativement les risques de collision dans ce secteur. Une réduction de la vitesse de 20 nœuds à 12 nœuds, pour les périodes de fréquentation maximale de la zone par les baleines, soit en mars et avril, pourrait réduire les risques de collision mortelle de moitié (passant de 0,95 à 0,5 (Vanderlaan et Taggart, 2007). L'implantation de mesures restrictives s'est avérée efficace lorsque les intervenants en lien direct avec la ressource étaient directement impliqués dans un système consultatif de cogestion (par exemple : Ostrom, 1990, Carpenter et Gunderson, 2001).

L'analyse de l'impact de l'approche des embarcations sur le comportement des baleines fait l'objet d'une analyse qualitative présentée à la fin de la section 3.3. Aucune conclusion hâtive ne sera faite à partir de ces données et les prochaines saisons d'acquisition de données fourniront peut-être quelques groupes supplémentaires ayant été

suivis avant, pendant et après une approche, ce qui permettrait d'effectuer des analyses plus poussées.

4.3 Développements futurs

L'étude présentée dans ce mémoire s'inscrit dans un contexte plus large, où la récolte de données se poursuivra au-delà de cette maîtrise. Les variables influençant l'abondance relative pourraient être étendues et l'analyse bonifiée de quelques années supplémentaires d'acquisition de données sur le terrain. Avec ces nouvelles données, des modèles additifs généralisés (GAM) (Wood, 2006) pourraient éventuellement être utilisés pour modéliser plus en détail l'utilisation de l'habitat des baleines dans la zone d'étude en considérant la fonction de détectabilité ainsi que certaines variables environnementales comme la profondeur, la distance de la côte et la pente. La présente étude a permis de mettre en lumière l'utilisation différente de la zone d'étude par les femelles accompagnées de baleineaux, une attention particulière aux mâles confirmés pourrait être portée dans la récolte de données et dans les analyses futures.

Avec l'acquisition de plus de données, les trajectoires pourrait faire l'objet d'une analyse plus poussée. À ce niveau, la méthode présentée dans Whitehead et Jonsen (2013) pour déduire la densité spatiale des individus à partir de suivis télémétriques en utilisant les chaînes de Markov (MCMC) pourrait être utilisée en l'adaptant aux trajectoires obtenues par suivi terrestre. Cette méthode a un grand potentiel et fournirait une option supplémentaire à l'analyse des suivis terrestres et elle permettrait d'évaluer la fonction de détectabilité.

Il existe des données dans cette zone d'étude qui pourraient être exploitées afin d'étendre les conclusions de la présente étude à une zone géographique beaucoup plus grande, voire à toute la population de baleines à bosse de l'Atlantique Nord. Effectivement, des données à l'échelle régionale sont disponibles (Gandilhon, 2012) et également à une échelle plus globale (Kennedy *et al*, 2013). Il serait envisageable de faire une modélisation de l'habitat et du comportement à fine échelle, c'est-à-dire pour la présente

zone d'étude, et d'ensuite valider et étendre les conclusions de ce modèle à une zone géographique beaucoup plus grande.

L'analyse de l'impact sur le comportement de l'approche d'embarcation reste toujours d'actualité bien que les données, difficiles à obtenir de manière opportuniste, manquent à l'heure actuelle. L'approche contrôlée de groupes de baleines par une plateforme de recherche pourrait palier au faible effectif obtenu jusqu'à maintenant (voir par exemple Williams *et al*, 2002a). Ces données pourraient ensuite être transmises à la Commission Baleinière Internationale dans le cadre du projet LaWE. Dans un contexte plus global, Lusseau et Bejder (2007) ont présenté un cadre conceptuel reproduit à la Figure 29. Dans ce contexte, la première étape reste encore à déterminer pour cette population de baleines à bosse, soit d'évaluer précisément l'impact de la production sonore d'origine anthropique, dans notre cas produite par les moteurs des embarcations en approche, sur le comportement des baleines. Cette étape complétée, il sera peut-être possible d'évaluer l'impact sur la population afin de mettre en place des mesures de conservation conséquentes.

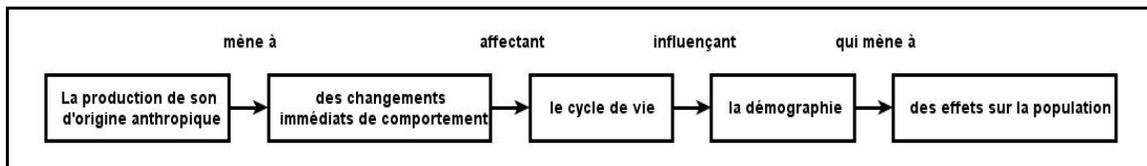


Figure 29 : Schéma illustrant la chaîne d'évènements menant de la production sonore d'origine anthropique à des effets sur les populations de mammifères marins. Inspiré, traduit et adapté de Lusseau et Bejder (2007).

Dans l'optique d'impliquer les intervenants dans la conservation de la ressource, une démarche a déjà été entreprise en ce sens. Effectivement, une étudiante à la maîtrise de l'Université de Montréal (Mélicca Tremblay, en rédaction) fait présentement son stage avec l'association Stenella. Sa mission consiste à mettre en place un protocole d'acquisition de données sur des plateformes opportunistes, comme par exemple les croisiéristes et les navettes fréquentant la zone d'étude.

Certaines modifications aux protocoles pourraient permettre de bonifier ou de compléter les données acquises jusqu'à maintenant. Par exemple, l'utilisation d'une plateforme de recherche pour effectuer une approche contrôlée d'un groupe de baleine et la validation de mâles chanteurs ont déjà été mentionnées. L'application du même protocole pour une autre zone d'étude touchant la même population de baleines à bosse est envisagée. Cela permettrait entre autres de faire une analyse comparative du comportement pour deux zones d'étude différentes, entre autres de l'habitat physique (par exemple la profondeur et l'exposition à la houle dominante). Le suivi simultané sur plusieurs sites d'observation contigus est également envisagé.

Finalement, les données recueillies pourraient servir à modéliser le trafic maritime et les mouvements des baleines dans cette zone afin de fournir un outil à la décision pour les gestionnaires du sanctuaire Agoa comparable à celui qui a été mis en place pour le Parc Marin du Saguenay Saint-Laurent (Parrott *et al*, 2011; Chion *et al*, 2013).

4.4 Portée et limites

L'avantage d'une station terrestre fixe est qu'il est plus facile de standardiser les données, mais un des désavantages majeurs est que la zone d'étude est limitée ainsi que les conclusions qui en découlent (Evans et Hammond, 2004). Les conclusions de cette étude se limitent donc à la zone d'observation, bien que des conclusions plus générales sur l'espèce puissent être extrapolées en prenant soin de justifier ces décisions. Par exemple, les conclusions relatives à l'abondance et à la composition des groupes pourraient être étendues à l'archipel guadeloupéen.

Une attention particulière sur l'incertitude des mesures de position a été portée au moment de l'analyse des trajectoires, car il s'agit probablement de la plus grande source de biais. L'incertitude sur la position et la vitesse a pu être contournée en considérant seulement des remontées sélectionnées distantes temporellement. La non détermination de la fonction de détectabilité limite grandement l'analyse sur l'utilisation de l'habitat, bien que cette analyse puisse être entreprise ultérieurement. Les aptitudes de l'équipe d'observateurs et les conditions météorologiques ont une grande influence sur la qualité

des données, ce qui influencera surtout la validité de celles sur l'abondance relative et sur la composition des groupes. Heureusement, l'équipe en place a acquis une expertise unique sur ce territoire, comme l'analyse sur l'abondance de 2013 en atteste.

Cette étude est une des premières décrivant l'utilisation de l'habitat à cette échelle par le rorqual à bosse dans les Petites Antilles, la première évaluation des pressions anthropiques dans cette zone et finalement une des premières par suivi terrestre dans les Antilles. L'étude récente de Jackson *et al* (2014) indique que la population de baleines à bosse de l'Atlantique Nord pourrait être éventuellement considérée comme une sous-population de l'espèce, impliquant des études localisées comme celle-ci et une gestion de la ressource à une échelle plus locale. Il est intéressant de rappeler que la presque totalité des publications par suivi terrestre sur des populations de baleines à bosse en période de reproduction ont eu lieu dans l'hémisphère sud. Ces faits augmentent grandement la portée de cette étude par son caractère inédit.

CONCLUSION

Les différentes entités, soit décisionnelles, les utilisateurs et la ressource, sont en relation sous forme de système socio-écologique complexe. L'objet de ce présent mémoire touche principalement l'acquisition de connaissances sur la ressource principale qu'est la population de baleines à bosse de Guadeloupe. Il s'intéresse également au lien entre cette ressource et certains utilisateurs. Le tout vise à informer les intervenants en place, autant institutionnels qu'utilisateurs, vers une mise en place de mesures de conservation adaptées en considérant certains compromis inhérents à la réalité de la zone d'étude. Il est nécessaire de rappeler que peu d'informations existent sur l'espèce dans les Petites Antilles et au sein du sanctuaire Agoa, d'où le caractère inédit de cette étude.

L'analyse des données récoltées en 2012 et 2013 a permis de déterminer que la fréquentation de la zone d'étude par la baleine à bosse s'effectue principalement en mars et avril, avec une abondance maximale au début du mois d'avril. Les facteurs influençant cette abondance restent à être validés, bien que le nombre d'observateurs, l'heure de la journée et le nombre d'embarcations dans la zone d'étude semblent y jouer un rôle. La forte présence de baleineaux, particulièrement au mois de mars, nous pousse à croire que cette zone est utilisée comme pouponnière. Le comportement n'est pas aléatoire dans la zone d'étude et les trajectoires convergent vers certaines zones ayant possiblement un lien avec la bathymétrie. De plus, le secteur entourant la Pointe-des-Châteaux pourrait potentiellement être une zone de convergence des groupes. Les groupes de baleines se déplacent en général à vitesse réduite vers le ENE, à l'exception des femelles accompagnées de baleineaux qui prennent une orientation tout autre, c'est-à-dire vers le ONO, et ce à plus grande vitesse. Bien que la pression d'observation soit considérée comme modérée, une forte proportion des remontées se trouve dans les corridors de navigation présents dans la zone d'étude. De plus, le corridor de navigation des navettes entre Saint-François et la Désirade comporte le plus grand risque relatif de collision mortelle. Une réduction de vitesse des embarcations fréquentant ce corridor durant la période de fréquentation des baleines à bosse en mars et avril diminuerait significativement le risque de collision mortelle.

Ces pistes de réflexion mèneront sans doute à d'autres études plus poussées afin de continuer à en apprendre sur l'écologie de cette espèce fascinante. Au-delà de la protection des baleines à bosse, cette espèce charismatique a le potentiel de devenir un emblème de la vulnérabilité des écosystèmes aquatiques et peut servir d'espèce parapluie à la protection d'un écosystème plus vaste que l'habitat qu'elle utilise. Par des mesures d'éducation et de sensibilisation se basant sur les connaissances acquises, cette espèce a la capacité de toucher le public et d'éveiller les consciences quant à l'urgence de protéger les océans et quant à l'impact que nous avons sur ceux-ci. En conclusion, nous souhaitons que les informations présentées dans cette étude soient diffusées et vulgarisées au public afin de le sensibiliser et ultimement d'éveiller les passions pour l'acquisition de connaissances, la protection et la valorisation des milieux aquatiques.

Références :

- Acevedo-Gutiérrez, A. (2009). Habitat Use. *Encyclopedia of Marine Mammals* (Second Edition). F. P. William, W. Bernd and J. G. M. Thewissen. London, Academic Press: 524-529.
- Alliance Éco-Baleine (2011). L'observation des baleines dans le Parc Marin du Saguenay–Saint-Laurent - Guide des pratiques écoresponsables pour les capitaines/naturalistes en mer (Première édition).
- Altmann, J. (1974). "Observational Study of Behavior: Sampling Methods." *Behaviour* 49(3-4): 227-266.
- Anderson, M. J. and P. Legendre (1999). "An empirical comparison of permutation methods for tests of partial regression coefficients in a linear model." *Journal of Statistical Computation and Simulation* 62(3): 271-303.
- Augris *et al.* (2000) - Carte des formations superficielles du plateau insulaire de la Martinique. 4 feuilles. Échelle 1/25 000. Édition Ifremer - Conseil Général de la Martinique.
- Augris *et al.* (2003) - Les fond marins du plateau insulaire de la Guadeloupe et de la Martinique. Carte des formations superficielles. Échelle 1/100 000. Édition Ifremer - Conseil Général de la Martinique.
- Anonyme (2008). Gestion et développement équilibré du littoral guadeloupéen - Phase 2 : État des lieux. Étude réalisée par BRLi pour la Direction Départementale de l'Équipement de la Guadeloupe - SERAU. 179 p.
- Anonyme (2012). Plan de gestion du Sanctuaire AGOA – Partie I : État initial juin 2012 (Version finale validée, pp. 190).
- Arranz, P., D. L. Borchers, N. A. de Soto, M. P. Johnson and M. J. Cox (2014). "A new method to study inshore whale cue distribution from land-based observations." *Marine Mammal Science* 30(2): 810-818.
- Arrêté préfectoral – 2013-065-007 (2013). Réglementant la pratique des activités nautiques le long du littoral de la Martinique, de la Guadeloupe et des collectivités de Saint-Barthélemy et Saint-Martin. – Article 3 : Observation des mammifères marins.
- Au, W. W. L., A. A. Pack, M. O. Lammers, L. M. Herman, M. H. Deakos and K. Andrews (2006). "Acoustic properties of humpback whale songs." *The Journal of the Acoustical Society of America* 120(2): 1103.

- Baird, R.W. & Burkhart, S.M. (2000). "Bias and variability in distance estimation on the water: implications for the management of whale watching. " Paper SC/52/WW1 presented to the IWC Scientific Committee, June 2000, in Adelaide, Australia (unpublished). 10pp. [Paper available from the Office of this Journal].
- Bejder, L. and A. Samuels (2003). Evaluating the effects of nature-based tourism on cetaceans. . Marine mammals: fisheries, tourism and management issues. N. Gales, M. Hindell and R. Kirkwood: 229-256.
- Berta, A., J. L. Sumich and K. M. Kovacs (2006). Marine Mammals: Evolutionary Biology - Second Edition, Elsevier Science.
- Bérubé, M., M. B. Rew, T. Cole, S. L. Swartz, E. Zolman, N. Øien and P. J. Palsbøll (2004). "Genetic identification of an individual humpback whale between the eastern caribbean and the norwegian sea." Marine Mammal Science 20(3): 657-663.
- Betancourt, L., Herrera-Moreno, A. & Beddall, K. (2012). "Spatial distribution of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in Samaná Bay, Dominican Republic. " Paper SC/64/O12 presented to the IWC Scientific Committee, June 2012, Panama City (unpublished). 12pp. [Paper available from the Office of this Journal].
- Bodin, Ö. and B. I. Crona (2009). "The role of social networks in natural resource governance: What relational patterns make a difference?" Global Environmental Change 19(3): 366-374.
- Bolker, B. M., M. E. Brooks, C. J. Clark, S. W. Geange, J. R. Poulsen, M. H. H. Stevens and J.-S. S. White (2009). "Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution." Trends in Ecology & Evolution 24(3): 127-135.
- Borchers, D. L., S. T. Buckland, P. W. Goedhart, E. D. Clarke and L. H. Sharon (1998). "Horvitz-Thompson Estimators for Double-Platform Line Transect Surveys." Biometrics 54(4): 1221-1237.
- Borobia, M. and F. J. da Silva (2005). Major threats to marine mammals in the Wider Caribbean region: A summary report. Regional Workshop of Experts on the Development of the Marine Mammal Action Plan for the Wider Caribbean Region. Bridgetown, Barbados, 18-21 July 2005, United Nations Environment Programme.
- Brugha, R. and Z. Varvasovszky (2000). "Stakeholder analysis: a review." Health Policy and Planning 15(3): 239-246.

- Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham and J. L. Laake (1993). *Distance Sampling: Estimating abundance of biological populations*, Chapman and Hall, London.
- Carlson, C. (2009). "A Review of Whale Watch Guidelines and Regulations Around the World: Version 2009." International Whaling Commission.
- Carpenter, S. R. and L. H. Gunderson (2001). "Coping with Collapse: Ecological and Social Dynamics in Ecosystem Management." *BioScience* 51(6): 451-457.
- Cartwright, R., B. Gillespie, K. Labonte, T. Mangold, A. Venema, K. Eden and M. Sullivan (2012). "Between a rock and a hard place: habitat selection in female-calf humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) Pairs on the Hawaiian breeding grounds." *PLoS One* 7(5): e38004.
- Chambers J. M. (2013). SoDA: Functions and Examples for "Software for Data Analysis". R package version 1.0-6. <http://CRAN.R-project.org/package=SoDA>
- Chion, C., G. Cantin, S. Dionne, B. Dubeau, P. Lamontagne, J.-A. Landry, D. Marceau, C. C. A. Martins, N. Ménard, R. Michaud, L. Parrott and S. Turgeon (2013). "Spatiotemporal modelling for policy analysis: Application to sustainable management of whale-watching activities." *Marine Policy* 38(0): 151-162.
- Chion, C., L. Parrott and J.-A. Landry (2012). "Collisions et cooccurrences entre navires marchands et baleines dans l'estuaire du Saint-Laurent – Évaluation de scénarios de mitigation et recommandations. Rapport présenté au Groupe de travail sur le trafic maritime et la protection des mammifères marins, Parcs Canada et Pêches et Océans Canada. Université de Montréal et École de technologie supérieure : Montréal. ."
- Clapham, P. J. (1996). "The social and reproductive biology of Humpback Whales: an ecological perspective." *Mammal Review* 26(1): 27-49.
- Clapham, P. J. (2009). Humpback Whale: *Megaptera novaeangliae*. *Encyclopedia of Marine Mammals (Second Edition)*. F. P. William, W. Bernd and J. G. M. Thewissen. London, Academic Press: 582-585.
- Clapham, P. J. and J. G. Mead (1999). "Megaptera novaeangliae." *Mammalian Species* 604: 1-9.
- Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals (2012). Appendices I and II of the Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals (CMS). [Available from the website of this Convention www.cms.int]. In: *Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals (CMS): Effective 23 February 2012*.

- Corkeron, P. J. (1995). "Humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in Hervey Bay, Queensland: behaviour and responses to whale-watching vessels." *Canadian Journal of Zoology* 73(7): 1290-1299.
- Craig, A. S. and L. M. Herman (2000). "Habitat preferences of female humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Hawaiian Islands are associated with reproductive status." *Marine Ecology Progress Series* 193: 209-216.
- Cunningham, P. A., E. H. Huijbens and S. L. Wearing (2012). "From whaling to whale watching: examining sustainability and cultural rhetoric." *Journal of Sustainable Tourism* 20(1): 143-161.
- Danilewicz, D., M. Tavares, I. B. Moreno, P. H. Ott and C. C. Trigo (2009). "Evidence of feeding by the humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) in mid-latitude waters of the western South Atlantic." *Marine Biodiversity Records* 2: null-null.
- Darling, J. D., M. E. Jones and C. P. Nicklin (2006). "Humpback whale songs: Do they organize males during the breeding season?" *Behaviour* 143(9): 1051-1101.
- David, L., S. Alleaume and C. Guinet (2011). "Evaluation of the potential of collision between fin whales and maritime traffic in the north-western Mediterranean Sea in summer, and mitigation solutions." *Journal of Marine Animals and Their Ecology* 4(1).
- Dawbin, W. H. (1966). *The seasonal migratory cycle of humpback whales*. Berkeley, CA, University of California Press.
- Dawson, S., P. Wade, E. Slooten and J. Barlow (2008). "Design and field methods for sighting surveys of cetaceans in coastal and riverine habitats." *Mammal Review* 38(1): 19-49.
- Debrot, A.O., Witte, R.H. AND Scheidat, M. (2011). "The marine mammals of the Dutch Caribbean: a comparison between EEZ sectors, contrasts and concerns." Paper SC/63/E9 presented to the IWC Scientific Committee, June 2011, Tromsø, Norway (unpublished). 8pp. [Paper available from the Office of this Journal].
- Doligez, B. and T. Boulinier (2008). *Habitat Selection and Habitat Suitability Preferences*. *Encyclopedia of Ecology*. J. Editors-in-Chief: Sven Erik and F. Brian. Oxford, Academic Press: 1810-1830.
- Dunne, J. A., R. J. Williams and N. D. Martinez (2004). "Network structure and robustness of marine food webs." *Marine Ecology Progress Series* 273: 291–302.
- Ersts, P. J. and H. C. Rosenbaum (2003). "Habitat preference reflects social organization of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) on a wintering ground." *Journal of Zoology* 260(4): 337-345.

- Evans, P. G. H., M. E. Baines and P. Anderwald (2011). Project Report: Risk Assessment of Potential Conflicts between Shipping and Cetaceans in the ASCOBANS Region. UN Campus, Bonn, Germany.
- Evans, P. G. H. and P. S. Hammond (2004). "Monitoring cetaceans in European waters." *Mammal Review* 34(1-2): 131-156.
- Evans, P. G. H., G. J. Pierce and S. Panigada (2010). "Climate change and marine mammals." *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 90(08): 1483-1487.
- Félix, F. (2004). "Assessment of the level of surface activity in humpback whales during the breeding season." *Lat. Am. J. Aquat. Mamm.* 3(1): 25-36.
- Fleming, A. and J. Jackson (2011). Global review of humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) NOAA Technical Memorandum NMFS-SWFSC-474. N. O. a. A. Administration, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, Southwest Fisheries Science Center: 209.
- Fraija, N., L. Flórez-González and A. Jáuregui (2009). "Cetacean occurrence in the Santa Marta region, Colombian Caribbean, February-May 2007." *Lat. Am. J. Aquat. Mamm.* 7(1-2): 69-73.
- France-Antilles Guadeloupe (17 février 2012). Au secours d'une baleine à bosse. France Antilles - Guadeloupe. Guadeloupe, France Antilles.
- Frankel, A. S., S. Yin and M. A. Hoffhines (2009). "Alternative methods for determining the altitude of theodolite observation stations." *Marine Mammal Science* 25(1): 214-220.
- Franklin, T., W. Franklin, L. Brooks, P. Harrison, P. Baverstock and P. Clapham (2011). "Seasonal changes in pod characteristics of eastern Australian humpback whales (*Megaptera novaeangliae*), Hervey Bay 1992-2005." *Marine Mammal Science* 27(3): E134-E152.
- Gailey, G. and J. Ortega (2000). Pythagoras: Pythagoras is designed to assist researchers in collecting, managing, and analyzing theodolite data.
- Gandilhon, N. (2012). *Contribution au recensement des cétacés dans l'archipel de Guadeloupe*. Thèse de doctorat, Université des Antilles et de la Guyane, Guadeloupe.
- Garrigue, C., J. Greaves and M. Chamberllant (2001). "Characteristics of the New Caledonian humpback whale population." *Memoirs of the Queensland Museum* 47(2): 539-546.

- Gonzalès, R. and L. Parrott (2012). "Network Theory in the Assessment of the Sustainability of Social–Ecological Systems." *Geography Compass* 6(2): 76-88.
- Hedley, S.L., Bannister, J.L. & Dunlop, R.A. (2009). "Group IV humpback whales: abundance estimates from aerial and land-based surveys off Shark Bay, western Australia, 2008." Paper SC/61/SH23 presented to the IWC Scientific Committee, June 2009, Madeira, Portugal (unpublished). 17pp. [Paper available at the Office of this Journal]
- Hoyt, E. (1999). *The potential of whale watching in the Caribbean: 1999+*. Bath, UK, Whale and Dolphin Conservation Society.
- Hoyt, E. (2001). *Whale Watching 2001 : Worldwide tourism numbers, expenditures, and expanding socioeconomic benefits. I. F. f. A. Welfare*. Yarmouth Port, MA, USA, International Fund for Animal Welfare: 158.
- Hoyt, E. and G. T. Hvenegaard (2002). "A Review of Whale-Watching and Whaling with Applications for the Caribbean." *Coastal Management* 30(4): 381-399.
- International Whaling Commission. (2002). "Report of the Scientific Committee. Annex H. Report of the Sub-Committee on the Comprehensive Assessment of North Atlantic Humpback Whales." *Journal of Cetacean Research Management (suppl.)*, 4, 230.
- International Whaling Commission. (2004). "Report of the Workshop on the Science for Sustainable Whalewatching, Breakwater Lodge, Cape Town, South Africa, 6-9 March 2004." Paper SC/56/WW12 presented to the IWC Scientific Committee, July 2004, Sorrento, Italy. 30pp. [Paper available at the Office of this Journal].
- International Whaling Commission. (2009). "Report of the Intersessional Workshop to Plan a Large-Scale Whalewatching Experiment; LaWE, 30 March-4 April 2008, Murdoch University, Bunbury, Australia." *Journal of Cetacean Research Management (suppl.)* 11: 483-500.
- Jackson, J. A., D. J. Steel, P. Beerli, B. C. Congdon, C. Olavarria, M. S. Leslie, C. Pomilla, H. Rosenbaum and C. S. Baker (2014). "Global diversity and oceanic divergence of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*)." *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281(1786).
- Jefferson, T. A., P. J. Stacey and R. W. Baird (1991). "A review of Killer Whale interactions with other marine mammals: predation to co-existence." *Mammal Review* 21(4): 151-180.
- Jensen, A. S. and G. K. Silber (2003). *Large Whale Ship Strike Database*. NOAA Technical Memorandum. U. S. D. o. commerce: 37.

- Jérémie, S., J.-C. Nicolas, F. Martail and S. Raign  (2005). Inventaire et suivi des Cétacés des eaux territoriales à la Martinique par échantillonnages visuel & acoustique : résultats de 2005. Suivi : abondance, comportement et distribution des populations côtières en saison humide (Hivernage), SEPANMAR - GREC.
- Kennedy, A. S., A. N. Zerbini, O. V. V squez, N. Gandilhon, P. J. Clapham and O. Adam (2014). "Local and migratory movements of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) satellite-tracked in the North Atlantic Ocean." *Canadian Journal of Zoology* 92(1): 9-18.
- Kniest, E., and Paton, D. (2001). Temporal GIS for Marine Mammal Research. (Abstract). In '14 Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals'. Vancouver, Canada.
- Kuo, H.-I., C.-C. Chen and M. McAleer (2012). "Estimating the impact of whaling on global whale-watching." *Tourism Management* 33(6): 1321-1328.
- Laist, D. W., A. R. Knowlton, J. G. Mead, A. S. Collet and M. Podesta (2001). "Collisions between ships and whales." *Marine Mammal Science* 17(1): 35-75.
- Laist, D. W., A. R. Knowlton and D. Pendleton (2014). "Effectiveness of mandatory vessel speed limits for protecting North Atlantic right whales." *ENDANGERED SPECIES RESEARCH* 23: 133-147.
- Legendre, P. and L. Legendre (2012). *Numerical ecology*. Amsterdam, Elsevier.
- Lerczak, J. A. and R. C. Hobbs (1998). "Calculating sighting distances from angular readings during shipboard, aerial, and shore-based marine mammal surveys." *Marine Mammal Science* 14(3): 590-598.
- Liu , J., T. Dietz, S. R. Carpenter, M. Alberti, C. Folke, E. Moran, A. N. Pell, P. Deadman, T. Kratz, J. Lubchenco, E. Ostrom, Z. Ouyang, W. Provencher, C. L. Redman, S. H. Schneider and W. W. Taylor (2007). "Complexity of Coupled Human and Natural Systems." *Science* 317(5844): 1513-1516.
- Lunardi, D. G., M. H. Engel and R. H. F. Macedo (2008). "Behavior of humpback whales, *Megaptera novaeangliae* (Cetacea: Balaenopteridae): comparisons between two coastal areas of Brazil." *Revista Brasileira de Zoologia* 25: 159-164.
- Lunardi, D. G., M. H. Engel, J. L. P. Marciano and R. H. Macedo (2010). "Behavioural strategies in humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, in a coastal region of Brazil." *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 90(08): 1693-1699.

- Lusseau, D., D. E. Bain, R. Williams and J. C. Smith (2009). "Vessel traffic disrupts the foraging behavior of southern resident killer whales (*Orcinus orca*)." *Endangered Species Research* 6: 211-221.
- Lusseau, D. and L. Bejder (2007). "The Long-term Consequences of Short-term Responses to Disturbance Experiences from Whalewatching Impact Assessment." *International Journal of Comparative Psychology* 20: 228-236.
- Lusseau, D. & Senigaglia, V. (2011). "Report on the first call for collaboration for LaWE." Paper SC/63/WW4 presented to the IWC Scientific Committee, June 2011, Tromsø, Norway (unpublished). 3pp. [Paper available from the Office of this Journal].
- Mann, J. (1999). "Behavioral sampling methods for cetaceans: a review and critique." *Marine Mammal Science* 15(1): 102-122.
- Marsh, H. and D. F. Sinclair (1989). "Correcting for Visibility Bias in Strip Transect Aerial Surveys of Aquatic Fauna." *The Journal of Wildlife Management* 53(4): 1017-1024.
- Martin, A. R., S. K. Katona, D. Matilla, D. Hembree and T. D. Waters (1984). "Migration of Humpback Whales between the Caribbean and Iceland." *Journal of Mammalogy* 65(2): 330-333.
- Martins, C. C. A. (2012). *Study of Baleen Whales' Ecology and Interaction with Maritime Traffic Activities to Support Management of a Complex Socio-Ecological System*. Thèse de doctorat, Université de Montréal.
- Martins, C. C. A., M. E. Morete, M. H. E. Coitinho, A. Freitas, E. R. Secchi and P. G. Kinas (2001). "Aspects of habitat use patterns of humpback whales in the Abrolhos bank, Brazil, breeding ground." *Memoirs of the Queensland Museum, Brisbane* 47(2): 563-570.
- Mattila, D. K. and P. J. Clapham (1989). "Humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, and other cetaceans on Virgin Bank and in the northern Leeward Islands, 1985 and 1986." *Canadian Journal of Zoology* 67(9): 2201-2211.
- Mattila, D. K., P. J. Clapham, S. K. Katona and G. S. Stone (1989). "Population composition of humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, on Silver Bank, 1984." *Canadian Journal of Zoology* 67(2): 281-285.
- Mattila, D. K., P. J. Clapham, O. Vásquez and R. S. Bowman (1994). "Occurrence, population composition, and habitat use of humpback whales in Samana Bay, Dominican Republic." *Canadian Journal of Zoology* 72(11): 1898-1907.
- McCullagh, P. and J. A. Nelder (1989). *Generalized Linear Model*, Chapman & Hall.

- Mignucci-Giannoni, A. A. (1998). "Zoogeography of cetaceans off Puerto Rico and the Virgin Islands." *Caribbean Journal of Science* 34(3-4): 173-190.
- Mitchell, M. (2009). *Complexity : a guided tour*. Oxford England ; New York, Oxford University Press.
- Morete, M.E. & Bisi, T.L. (2006). "Mother and calf humpback whale responses to vessels around Abrolhos Archipelago, Bahia, Brazil." Paper SC/58/WW9 presented to the IWC Scientific Committee, June 2006, St Kitts and Nevis, WI. 10pp. [Paper available at the Office of this Journal]
- Morete, M. E., T. L. Bisi, R. M. Pace and S. Rosso (2008). "Fluctuating abundance of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in a calving ground off coastal Brazil." *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 88(06).
- Morete, M. E., T. L. Bisi and S. Rosso (2007). "Temporal pattern of humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) group structure around Abrolhos Archipelago breeding region, Bahia, Brazil." *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 87(01): 87.
- Morete, M. E., I. Pace, R. M., C. C. A. Martins, A. C. Freitas and M. H. Engel (2003). "Indexing seasonal abundance of humpback whales around Abrolhos Archipelago, Bahia, Brazil." *Latin American Journal of Aquatic Mammals* 2(1): 21-28.
- Morete, M.E., Freitas, A.C., Engel, M.H. & Glock, L. (2000). "Tourism characterization and preliminary analyses of whale watching on humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) around Abrolhos Archipelago, southeastern Bahia, Brazil." Paper SC/52/WW6 presented to the IWC Scientific Committee, June 2000, in Adelaide, Australia. 10pp. [Paper available at the Office of this Journal].
- Noad, M.J., Dunlop, R.A., Paton, D. & Kniest, H. (2011). "Abundance estimates of the east Australian humpback whale population: 2010 survey and update." Paper SC/63/SH22 presented to the IWC Scientific Committee, June 2011, Tromsø, Norway (unpublished). 12pp. [Paper available from the Office of this Journal]
- Noad, M.J., Paton, D. & Cato, D.H. (2006). "Absolute and relative abundance estimates of Australian east coast humpback whales (*Megaptera novaeangliae*)." Paper SC/A06/HW27 presented to the Workshop on the Comprehensive Assessment of Southern Hemisphere humpback whales, 4- 7 April 2006, Hobart, Tasmania. (unpublished). 15pp. [Paper available from the Office of this Journal]

- O'Connor, S., R. Campbell, H. Cortez and T. Knowles (2009). "Whale Watching Worldwide: tourism numbers, expenditures and expanding economic benefits, a special report from the International Fund for Animal Welfare." 295.
- Ostrom, E. (1990). *Governing the commons : the evolution of institutions for collective action*. Cambridge England ; New York ,, Cambridge University Press.
- Ostrom, E. (2009). "A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems." *Science* 325(5939): 419-422.
- Oviedo, L. and M. Solis (2008). "Underwater topography determines critical breeding habitat for humpback whales near Osa Peninsula, Costa Rica: implications for marine protected areas." *Revista de biologia tropical* 56(2): 591-602.
- Palsboll, P. J., J. Allen, M. Berube, P. J. Clapham, T. P. Feddersen, P. S. Hammond, R. R. Hudson, H. Jorgensen, S. Katona, A. H. Larsen, F. Larsen, J. Lien, D. K. Mattila, J. Sigurjonsson, R. Sears, T. Smith, R. Sponer, P. Stevick and N. Oien (1997). "Genetic tagging of humpback whales." *Nature* 388(6644): 767-769.
- Parcs Canada (6 juin 2013). Communiqué de presse : Mesure volontaire pour diminuer le risque de collisions entre les mammifères marins et les navires. Québec (Canada).
- Parrott, L. (2002). *Complexity and the limits of ecological engineering*. St. Joseph, MI, États-Unis, American Society of Agricultural Engineers.
- Parrott, L., C. Chion, Gonzal, R. s and G. Latombe (2012). "Agents, Individuals, and Networks: Modeling Methods to Inform Natural Resource Management in Regional Landscapes." *Ecology and Society* 17(3).
- Parrott, L., C. Chion, C. C. A. Martins, P. Lamontagne, S. Turgeon, J. A. Landry, B. Zhens, D. J. Marceau, R. Michaud, G. Cantin, N. Ménard and S. Dionne (2011). "A decision support system to assist the sustainable management of navigation activities in the St. Lawrence River Estuary, Canada." *Environmental Modelling & Software* 26(12): 1403-1418.
- Parrott, L. and W. S. Meyer (2012). "Future landscapes: managing within complexity." *Frontiers in Ecology and the Environment* 10(7): 382-389.
- Parsons, E. C. M. (2012). "The Negative Impacts of Whale-Watching." *Journal of Marine Biology* 2012: 1-9.
- Parsons, E.C.M. & Scarpaci, C. (2010) "Recent advances in whalewatching research: 2009-2010." Paper SC/62/WW2 presented to the IWC Scientific Committee, June 2010, Agadir, Morocco (unpublished). 19pp. [Paper available from the Office of this Journal].

- Parsons, E. C. M., A. J. Wright and M. A. Gore (2008). "The Nature of Humpback Whale (*Megaptera novaeangliae*) Song." *Journal of Marine Animals and Their Ecology* 1(1): 21-30.
- Paulson, D. S. (2008). *Biostatistics and microbiology a survival manual*. New York, NY, Springer.
- Paxton, C.G.M., Bannister, J.L. & Hedley, S.L. (2006). "Group IV humpback whales: their status from aerial and land-based surveys off Western Australia, 2005." Paper SC/A06/HW3 presented to the Workshop on the Comprehensive Assessment of Southern Hemisphere humpback whales, 4- 7 April 2006, Hobart, Tasmania. (unpublished). 41pp. [Paper available from the Office of this Journal]
- Pinto de Sá Alves, L. C., A. Andriolo, A. N. Zerbini, J. L. A. Pizzorno and P. J. Clapham (2009). "Record of feeding by humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in tropical waters off Brazil." *Marine Mammal Science* 25(2): 416-419.
- PNUE (2005). Rapport de l'atelier. Atelier régional d'experts sur le développement d'un Plan d'action pour les mammifères marins dans la région des Caraïbes. Bridgetown, Barbade, du 18 au 21 juillet 2005, Programme des Nations Unies pour l'Environnement.
- Proulx, B. (2011). Bilan des observations de rorquals à bosse (*Megaptera novaeangliae*), dans les Petites Antilles, au sud de Grande-Terre, Guadeloupe, depuis un point d'observation terrestre, la Pointe-des-Châteaux Rapport préliminaire - Saison 2011 -, Association Stenella. *Non publié*.
- Pujos, M., J. L. Gonzalez and J. C. Pons (1992). Circulation des eaux sur les plateaux insulaires de Martinique et Guadeloupe. Evolution des littoraux de Guyane et de la zone caraïbe méridionale pendant le quaternaire. P. M.-T. (ed.). 415-435.
- Punt, A. E., N. A. Friday and T. D. Smith (2006). "Reconciling data on the trends and abundance of North Atlantic humpback whales within a population modelling framework." *Journal of Cetacean Research Management* 8(2): 145–159.
- R Development Core Team (2005). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org>
- Reeves, R. R. (2005a). Distribution and status of marine mammals of the Wider Caribbean region: An update of unep documents. Regional Workshop of Experts on the Development of the Marine Mammal Action Plan for the Wider Caribbean Region. Bridgetown, Barbados, 18-21 July 2005., United Nations Environment Programme.

- Reeves, R. R. (2005b). Insights on marine mammals of the Wider Caribbean Sea region (including the Gulf of Mexico) derived from whaling history documents. Regional Workshop of Experts on the Development of the Marine Mammal Action Plan for the Wider Caribbean Region. Bridgetown, Barbados, 18-21 July 2005., United Nations Environment Programme.
- Reeves, R. R., T. D. Smith, E. A. Josephson, P. J. Clapham and G. Woolmer (2004). "Historical observations of humpback and blue whales in the North Atlantic Ocean: clues to migratory routes and possibly additional feeding grounds." *Marine Mammal Science* 20(4): 774-786.
- Reeves, R. R., B. S. Stewart, P. J. Clapham and J. A. Powell (2002). National Audubon Society guide to marine mammals of the world, A.A. Knopf.
- Règlement sur les activités en mer dans le parc marin du Saguenay - Saint-Laurent*, DORS/2002-76
- Reilly, S. B., J. L. Bannister, P. B. Best, M. Brown, R. L. Brownell Jr., D. S. Butterworth, P. J. Clapham, J. Cooke, G. P. Donovan, J. Urbán and A. N. Zerbini. (2008). "Megaptera novaeangliae." IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2 Retrieved 22 January, 2013, from www.iucnredlist.org.
- Rinaldi, C., Rinaldi, R. & Sahagian, P. (2006). "Report of surveys conducted on small cetaceans off Guadeloupe 1998 to 2005." Paper SC/58/SM17 presented to the IWC Scientific Committee, June 2006, St Kitts and Nevis, WI. 4pp. [Paper available at the Office of this Journal]
- Ritter, F. (2003). Interactions of cetaceans with whale watching boats: implications for the management of whale watching tourism, M.E.E.R.e.V.
- Ritter, F. (2009). Collisions of sailing vessels with cetaceans worldwide: First insights into a seemingly growing problem. Paper SC/61/BC1 presented to the IWC Scientific Committee: 13p. [Available from the office of this Journal].
- Robbins, J., J. M. Allen, P. J. Clapham and D. K. Mattila (2006). "Stock identity of a humpback whale taken in a southeastern Caribbean hunt." *Journal of Cetacean Research and Management* 8(1): 29–31.
- Roden, C. L. and K. D. Mullin (2000). "Sightings of cetaceans in the northern Caribbean Sea and adjacent waters : winter 1995." *Caribbean journal of science* 36(3-4).
- Romero, A., A. I. Agudo, S. M. Green and G. Notarbartolo di Sciara (2001). Cetaceans of Venezuela: Their Distribution and Conservation Status. NOAA Technical Report, NOAA, U.S. Department of Commerce: 61.

- ROMM (Réseau d'observation de mammifères marins). 2014. Navires et baleines de l'Atlantique Nord-Ouest. Guide à l'intention de l'industrie maritime. Rivière-du-Loup, Québec. Fédération maritime du Canada et Université Dalhousie. 74 p.
- Rosenbaum, H. C., P. J. Clapham, J. Allen, M. Nicole-Jenne, C. Jenner, L. Folorez-Gonzalez, J. Urban R., P. Landron G., K. Mori, M. Yamaguchi and C. S. Baker (1995). "Geographic variation in ventral fluke pigmentation of humpback whale *Megaptera novaeangliae* populations worldwide." *Marine Ecology Progress Series* 124: 1-7.
- Sanders, I. M., J. C. Barrios-Santiago and R. S. Appeldoorn (2005). "Distribution and Relative Abundance of Humpback Whales off Western Puerto Rico during 1995-1997." *Caribbean journal of science* 41(1).
- Scarpaci, C. & Parsons, E.C.M. (2011). "Recent advances in whalewatching research: 2010-2011." *Paper SC/63/WW1 presented to the IWC Scientific Committee, June 2011, Tromsø, Norway (unpublished)*. 13pp. [Paper available from the Office of this Journal].
- Schaffar, A. and C. Garrigue (2010). "Exposure of humpback whales to unregulated tourism activities in their main reproductive area in New Caledonia." *Journal of Cetacean Research Management* 11(2): 147-152.
- Schaffar, A., Madon, B., Garrigue, C. & Constantine, R. (2009). Avoidance of whalewatching boats by humpback whales in their main breeding ground in New Caledonia. Paper SC/61/WW6 presented to the IWC Scientific Committee, June 2009, Madeira, Portugal (unpublished) 9pp. [Paper available at the Office of this Journal]
- Scheidat, M., C. Castro, J. Gonzalez and R. Williams (2004). "Behavioural responses of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) to whalewatching boats near Isla de la Plata, Machalilla National Park, Ecuador." *Journal of Cetacean Research Management* 6(1).
- Senigaglia, Valeria. (2011a). Draft on how to write your own protocol (v. 1.0). *LaWE: Large-scale Whalewatching Experiment initiative from the International Whaling Commission (unpublished)*. 2p.
- Senigaglia, Valeria. (2011b). Draft protocol to collect data using theodolite (v. 1.0). *LaWE: Large-scale Whalewatching Experiment initiative from the International Whaling Commission (unpublished)*. 3p.
- Senigaglia, Valeria. (2011c). Draft protocol to collect respiration data (v. 1.0). *LaWE: Large-scale Whalewatching Experiment initiative from the International Whaling Commission (unpublished)*. 2p.

- Senigaglia, Valeria. (2011d). Draft protocol to collect movement pattern data (v. 1.0). *LaWE: LARge-scale Whalewatching Experiment initiative from the International Whaling Commission (unpublished)*. 2p.
- Senigaglia, Valeria. (2011e). Draft protocol to collect habitat use data (v. 1.0). *LaWE: LARge-scale Whalewatching Experiment initiative from the International Whaling Commission (unpublished)*. 3p.
- Senigaglia, Valeria. (2011f). Draft protocol to collect behavioural data from land (v. 1.0). *LaWE: LARge-scale Whalewatching Experiment initiative from the International Whaling Commission (unpublished)*. 3p.
- SHOM (Service hydrographique et océanographique de la marine) (2013). Références Altimétriques Maritimes - Cotes du zéro hydrographique et niveaux caractéristiques de la marée.
- Silva, N., R. Acevedo and L. Oviedo (2008). "Preliminary observations on the spatial distribution of humpback whales off the north coast of Margarita Island, Venezuela—south-east Caribbean." *Marine Biodiversity Records 1*: Published online.
- Simmonds, M. P. and S. J. Isaac (2007). "The impacts of climate change on marine mammals: early signs of significant problems." *Oryx 41*(01): 19-26.
- Smith, J. N., H. S. Grantham, N. Gales, M. C. Double, M. J. Noad and D. Paton (2012). "Identification of humpback whale breeding and calving habitat in the Great Barrier Reef." *Marine Ecology Progress Series 447*: 259-272.
- Smith, T. D., J. Allen, P. J. Clapham, P. S. Hammond, S. Katona, F. Larsen, J. Lien, D. Mattila, P. J. Palsbøll, J. Sigurjónsson, P. T. Stevick and N. Øien (1999). "An ocean-basin-wide mark-recapture study of the North Atlantic humpback whale (*Megaptera novaeangliae*)." *Marine Mammal Science 15*(1): 1-32.
- Smith, T. D. and R. R. Reeves (2003). "Estimating american 19th century catches of Humpback whales in the West Indies and Cape Verde Islands." *Caribbean journal of science 39*(3): 286-297.
- Smith, T. D., R. R. Reeves, N. A. Friday and A. E. Punt (2002). "Reconstructing humpback whale populations in the North Atlantic." ICES, CM: L30.
- Sousa-Lima, R. S. and C. W. Clark (2008). Modeling the effect of boat traffic on the fluctuation of humpback whale singing activity in the Abrolhos National Marine Park, Brazil.

- Stamation, K. A., D. B. Croft, P. D. Shaughnessy, K. A. Waples and S. V. Briggs (2010). "Behavioral responses of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) to whale-watching vessels on the southeastern coast of Australia." *Marine Mammal Science* 26(1): 98-122.
- Stevick, P. T., J. Allen, M. Bérubé, P. J. Clapham, S. K. Katona, F. Larsen, J. Lien, D. K. Mattila, P. J. Palsbøll, J. Robbins, J. Sigurjónsson, T. D. Smith, N. Øien and P. S. Hammond (2003a). "Segregation of migration by feeding ground origin in North Atlantic humpback whales (*Megaptera novaeangliae*)." *Journal of Zoology* 259(3): 231-237.
- Stevick, P. T., J. Allen, P. J. Clapham, N. Friday, S. K. Katona, F. Larsen, J. Lien, D. K. Mattila, P. J. Palsbøll, J. Sigurjónsson, T. D. Smith, N. Øien and P. S. Hammond (2003b). "North Atlantic humpback whale abundance and rate of increase four decades after protection from whaling." *Marine Ecology Progress Series* 258: 263-273.
- Stevick, P. T., N. Øien and D. K. Mattila (1998). "Migration of a humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) between Norway and the West Indies." *Marine Mammal Science* 14(1): 162-166.
- Swartz, S. L., T. Cole, M. A. McDonald, J. A. Hildebrand, E. M. Oleson, A. Martinez, P. J. Clapham, J. Barlow and M. L. Jones (2003). "Acoustic and visual survey of humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) distribution in the eastern and southeastern Caribbean Sea." *Caribbean Journal of Science* 39: 195-208.
- Swartz, S. L., A. Martinez, T. Cole, P. J. Clapham, M. A. McDonald, J. A. Hildebrand, E. M. Oleson, C. Burks and J. Barlow (2001a). Visual and acoustic survey of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Eastern and Southern Caribbean Sea: Preliminary Findings, US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA Fisheries, Southeast Fisheries Science Center.
- Swartz, S. L., A. Martinez, J. Stamatés, C. Burks and M.-G. A.A. (2001b). Acoustic and visual survey of cetaceans in the waters of Puerto Rico and the Virgin Islands: February-March 2001. NOAA Technical Memorandum: 62.
- Tremblay, M. (en rédaction). "Protocole de suivi de la population de rorqual à bosse (*Megaptera novaeanglia*) adapté pour des embarcations touristiques." Présenté au Département de géographie de l'Université de Montréal dans le cadre du cours Stage de formation pratique GEO-6022, en vue de l'obtention du grade de Maîtrise en géographie, option stage de formation pratique.
- Tyack, P. (1981). "Interactions between singing Hawaiian humpback whales and conspecifics nearby." *Behavioral Ecology and Sociobiology* 8(2): 105-116.

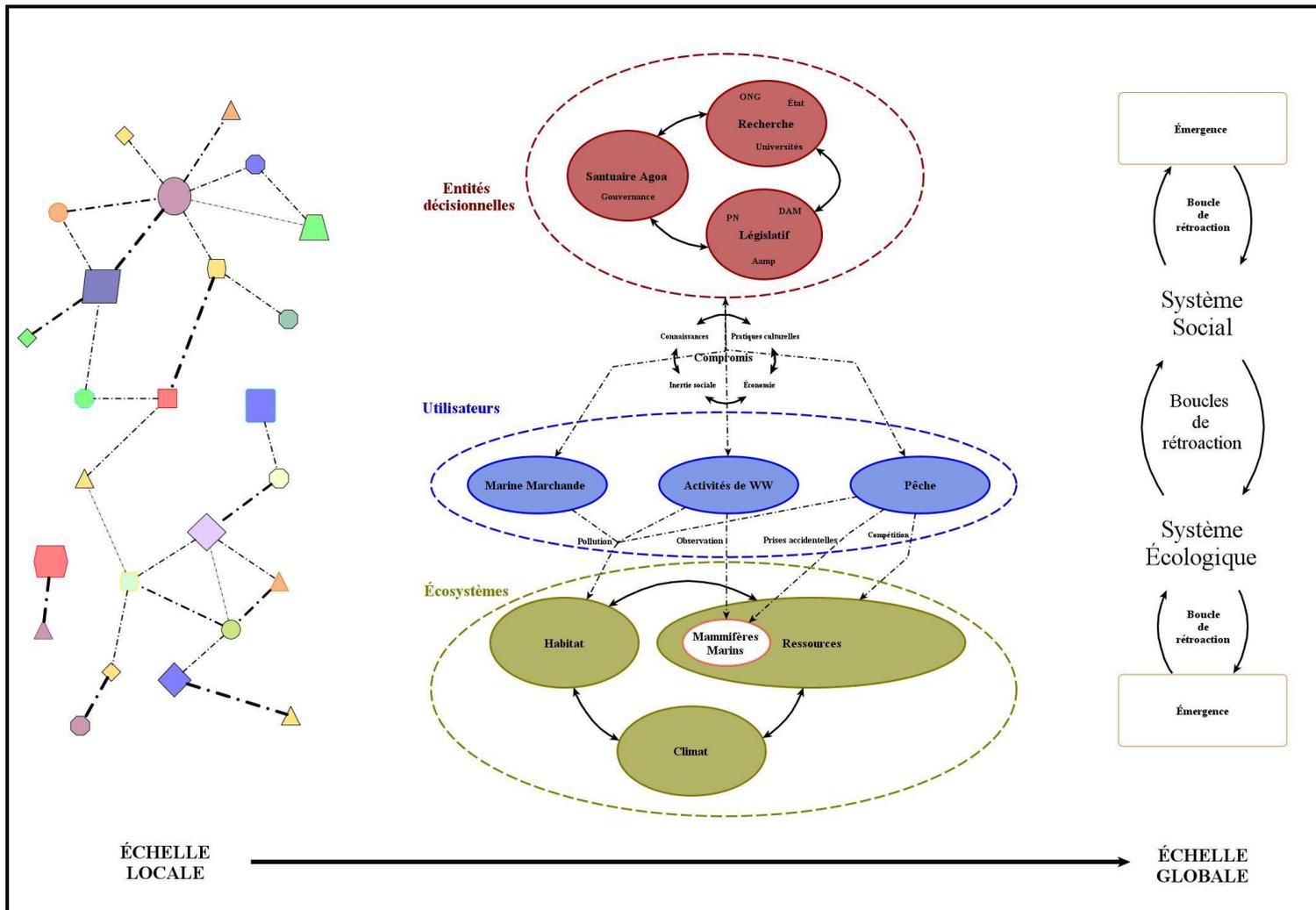
- UNEP (1990). Protocol concerning specially protected areas and wildlife to the convention for the protection and development of the marine environment of the Wider Caribbean region. The Final Act of the Conference of Plenipotentiaries Concerning Specially Protected Areas and Wildlife in the Wider Caribbean Region. Adopted at Kingston on 18 January 1990., United Nations Environment Programme. .
- Vail, C. S. (2005). Socio-economic assessment of marine mammal utilization in the Wider Caribbean region: captivity, viewing and hunting. Regional Workshop of Experts on the Development of the Marine Mammal Action Plan for the Wider Caribbean Region. Bridgetown, Barbados, 18-21 July 2005., United Nations Environment Programme.
- Valsecchi, E., P. Hale, P. Corkeron and W. Amos (2002). "Social structure in migrating humpback whales (*Megaptera novaeangliae*)." *Molecular ecology* 11(3): 507-518.
- van Canneyt, O., G. Dorémus, G. Certain, V. Ridoux, S. Jeremie, R. Rinaldi and P. Watremez (2009). Distribution et abondance des CETacés dans la zone économique EXclusive des Antilles françaises par Observation aérienne - Campagne EXOCET - Antilles - Rapport final, Université de la Rochelle - Centre de Recherche sur les Mammifères Marins, Agence des aires marines protégées: 45.
- Vanderlaan, A. S. M. and C. T. Taggart (2007). "Vessel collisions with whales: the probability of lethal injury based on vessel speed." *Marine Mammal Science* 23(1): 144-156.
- Vanderlaan, A. S. M., C. T. Taggart, A. R. Serdynska, R. D. Kenney and M. W. Brown (2008). "Reducing the risk of lethal encounters: vessels and right whales in the Bay of Fundy and on the Scotian Shelf." *Endangered Species Research* 4: 283-297.
- Vaslet, A., L. Chevry, N. Alloncle, S. Brugneaux (2013). "Analyse stratégique régionale marine de Guadeloupe. Synthèse des connaissances sur le milieu marin." Université des Antilles et de la Guyane (Laboratoire DYNECAR), Parc National de Guadeloupe, Agence des Aires marines protégées. 268 p.
- Vidal, O., Vav Waerebeek, K. & Findley, L.T. (1994). "Cetaceans and gillnet fisheries in Mexico, Central America and the wider Caribbean: a preliminary review." *Rep. int. Whal. Commn (special issue)*, 15, 221-33.
- Vigness-Raposa, K. J., R. D. Kenney, M. L. Gonzalez and P. V. August (2010). "Spatial patterns of humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) sightings and survey effort: Insight into North Atlantic population structure." *Marine Mammal Science* 26(1): 161-175.

- Vu, E. T., D. Risch, C. W. Clark, S. Gaylord, L. T. Hatch, M. A. Thompson, D. N. Wiley and S. M. Van Parijs (2012). "Humpback whale song occurs extensively on feeding grounds in the western North Atlantic Ocean." *Aquatic Biology* 14(2): 175-183.
- Ward, N. and A. Moscrop (1999). *Marine mammals of the Wider Caribbean Region: A review of their conservation Status. Fourth Meeting of the Interim Scientific and Technical Advisory Committee (ISTAC) to the Protocol Concerning Specially Protected Areas and Wildlife (SPA) in the Wider Caribbean Region. Havan, Cuba 3-6 August 1999, United Nations Environment Programme.*
- Ward, N., A. Moscrop and C. Carlson (2001). *Éléments de Développement d'un Plan d'Action pour les Mammifères Marins dans les Grandes Antilles: Rapport sur la Répartition des Mammifères Marins. Première réunion des Parties contractantes (COP) au Protocole relatif aux zones et à la vie sauvage spécialement protégées (SPA) dans la région des Caraïbes. La Havane, Cuba, du 24 au 25 septembre 2001, Programme des Nations Unies pour l'Environnement.*
- Weilgart, L. S. (2007a). "A Brief Review of Known Effects of Noise on Marine Mammals." *International Journal of Comparative Psychology* 20(2).
- Weilgart, L. S. (2007b). "The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management." *Canadian Journal of Zoology* 85(11): 1091-1116.
- Weinrich, M., Lusseau, D., Janiger, D., Consoer, M., Kirchner, T. & Lundberg, E. (2008). "A review and meta-analysis of whalewatch impact studies." Paper SC/60/WW10 presented to the IWC Scientific Committee, June 2008, Santiago, Chile (unpublished). 14pp. [Paper available at the Office of this Journal]
- Weir, C. R., S. Calderan, M. Unwin and M. Paulatto (2011). "Cetacean encounters around the island of Montserrat (Caribbean Sea) during 2007 and 2010, including new species state records." *Marine Biodiversity Records* 4.
- Wenzel, F. W., J. Allen, S. Berrow, C. J. Hazevoet, B. Jann, R. E. Seton, L. Steiner, P. Stevick, P. López Suárez and P. Whooley (2009). "Current knowledge on the distribution and relative abundance of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) off the Cape Verde Islands, eastern North Atlantic." *Aquatic Mammals* 35(4): 502-510.
- Whaley, A. R., A. J. Wright, I. B. de Calventi and E. C. M. Parsons (2008). "Humpback whale sightings in southern waters of the Dominican Republic lead to proactive conservation measures." *Marine Biodiversity Records* 1: null-null.
- Whitehead, H. and I. D. Jonsen (2013). "Inferring Animal Densities from Tracking Data Using Markov Chains." *PLoS ONE* 8(4): e60901.

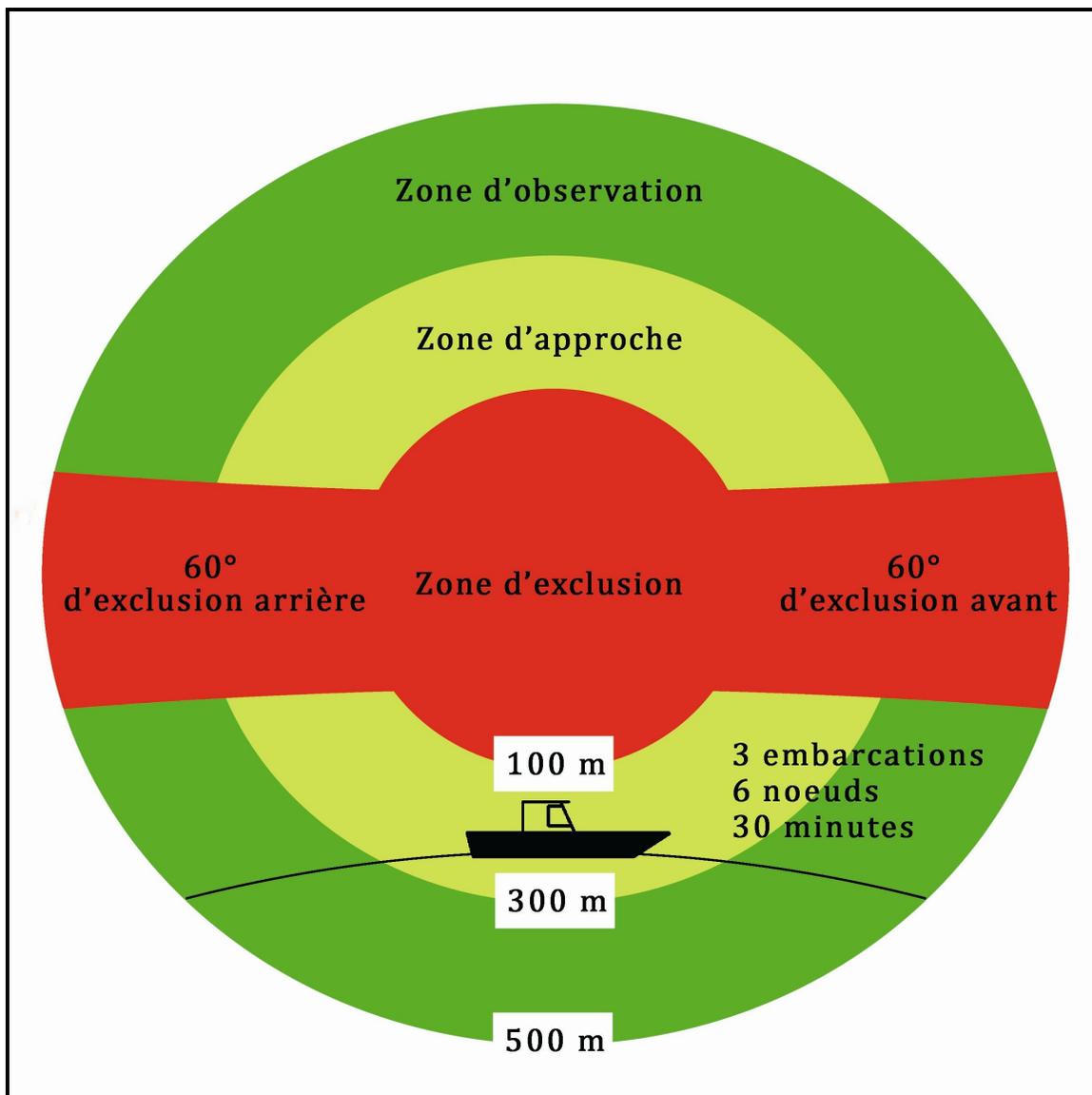
- Whitehead, H. and M. J. Moore (1982). "Distribution and movements of West Indian humpback whales in winter." *Canadian Journal of Zoology* 60(9): 2203-2211.
- Williams, R., D. E. Bain, J. B. K. Ford and A. W. Trites (2002a). "Behavioral responses of male killer whales to a 'leapfrogging' vessel." *Journal of Cetacean Research Management* 4(3): 305-310.
- Williams, R., D. E. Bain, J. C. Smith and D. Lusseau (2009). "Effects of vessels on behaviour patterns of individual southern resident killer whales *Orcinus orca*." *Endangered Species Research* 6: 199-209.
- Williams, R. and P. O'Hara (2010). "Modeling ship strike risk to fin, humpback and killer whales in British Columbia, Canada." *Journal of Cetacean Research and Management* 11(1): 1-8.
- Williams, R., A. W. Trites and D. E. Bain (2002b). "Behavioural responses of killer whales (*Orcinus orca*) to whale-watching boats: opportunistic observations and experimental approaches." *Journal of Zoology* 256(2): 255-270.
- Winn, H. E. and L. K. Winn (1978). "The song of the humpback whale *Megaptera novaeangliae* in the West Indies." *Marine Biology* 47(2): 97-114.
- Wood, S. N. (2006). *Generalized additive models : an introduction with R*. Boca Raton, FL, Chapman & Hall/CRC.
- Würsig, B., F. Cipriano and M. Würsig (1991). *Dolphin movement patterns: Information from radio and theodolite-tracking studies*. *Dolphin Societies: Discoveries and Puzzles*. Berkeley, CA., K. Pryor and K.S. Norris (eds), University of California Press.
- Young, N. M. and S. Iudicello (2007). *An evaluation of the most significant threats to cetaceans, the affected species and the geographic areas of high risk, and the recommended actions from various independent institutions.*, NOAA Fisheries Office of International Affairs. NOAA Technical Memorandum: 275.
- Zeh, J. E. (1999). *Correcting for missed observations in a shore-based count of whales*. *Marine Mammal Survey and Assessment Methods: Proceedings of the Symposium on Surveys, Status & Trends of Marine Mammal Populations : Seattle, Washington, USA, 25-27 February 1998*. G. W. Garner, Balkema: 127-136.
- Zuur, A. F. (2009). *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. New York ; London, Springer.

Annexes

Annexe 1 Représentation du sanctuaire Agoa comme un système socio-écologique complexe.



Annexe 2 Schéma des règles les plus communes (mode) pour l'approche des grands cétacés selon 11 chartes internationales (Inspiré de Carlson, 2009).



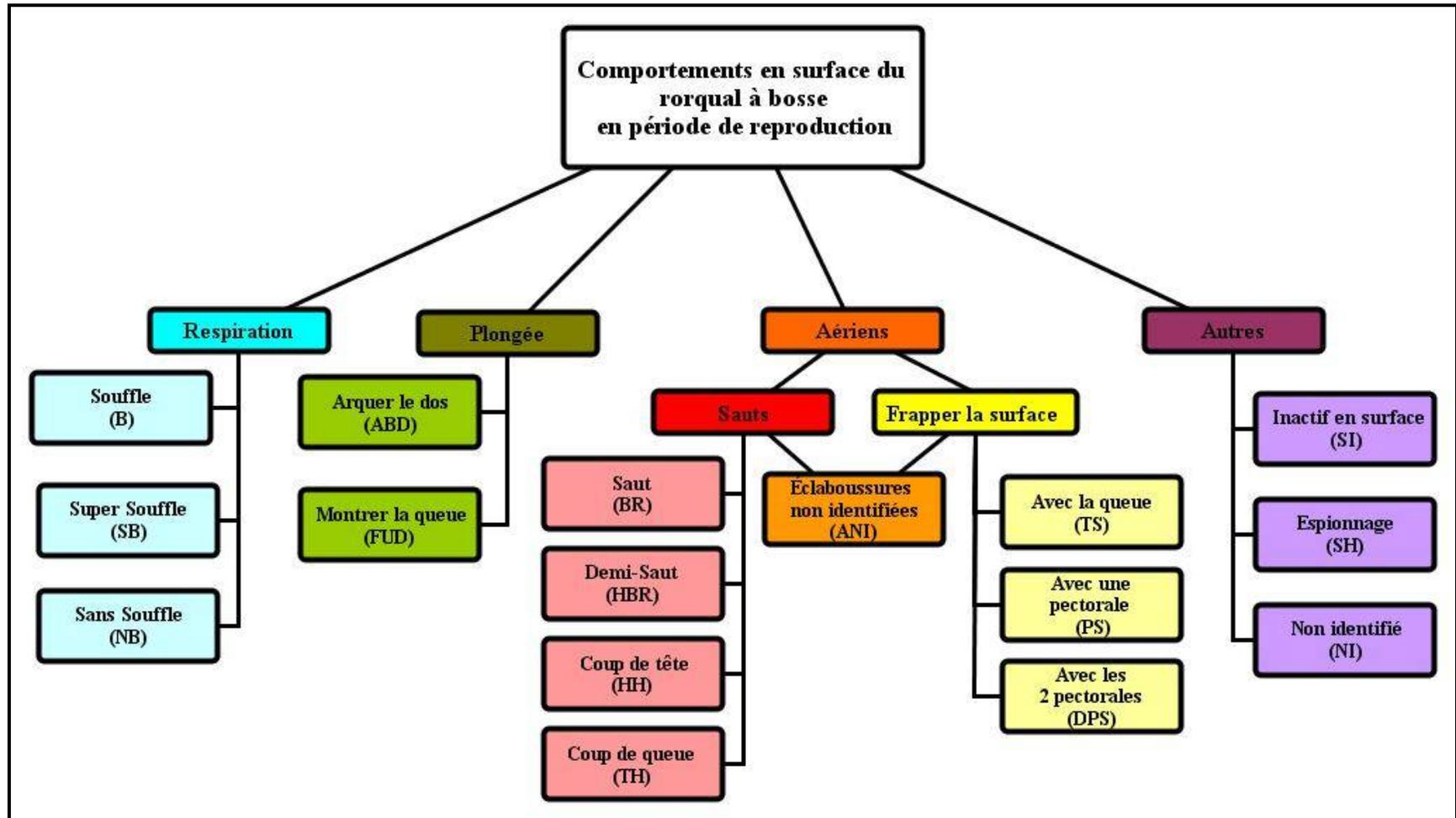
Annexe 3 Tableau descriptif des comportements en surface du rorqual à bosse en période de reproduction.

	Nom	Nom en anglais	Abrév.	Description
Respiration	Souffle	<i>Blow</i>	BL	Nuage de condensation visible à la surface de l'eau au moment de respirer.
	Super souffle*	<i>Super blow</i>	SBL	Nuage de condensation visible à la surface de l'eau au moment de respirer et éclaboussures autour de l'évent (début du souffle sous l'eau).
	Sans souffle	<i>No blow</i>	NBL	Évent et dos visibles à la surface quelques secondes sans nuage de condensation visible.
Plongée	Arque le dos	<i>Arch back and dive</i>	ABD	Le dos et le pédoncule se courbent fortement au moment de plonger sans montrer la queue
	Montre la queue	<i>Fluke up and dive</i>	FUD	Le dos et le pédoncule se courbent fortement au moment de plonger et la queue sort complètement de l'eau (à la verticale ou non).
Aériens	Saut	<i>Breach</i>	BR	Plus de 90% du corps de l'animal sort de l'eau tête première, la nageoire dorsale sort de l'eau.
	Demi-saut	<i>Half Breach</i>	HBR	Près de 50% du corps de l'animal sort de l'eau tête première, soit presque jusqu'à la nageoire dorsale.
	Coup de tête*	<i>Head Slash Head slap</i>	HH	La tête sort rapidement et complètement de l'eau et frappe la surface, habituellement avec le menton.
	Coup de queue*	<i>Tail Slash</i>	TH	La queue et le pédoncule sortent rapidement et complètement de l'eau et frappe la surface, habituellement de côté.
	Frapper de la queue [#]	<i>Tail slap</i>	TS	La queue sort complètement de l'eau et frappe horizontalement la surface de l'eau, habituellement plus d'une fois, avec la face ventrale et/ou dorsale.
	Frapper de la pectorale [#]	<i>Pectoral slap</i>	PS	Une nageoire pectorale sort complètement de l'eau et frappe la surface de l'eau, habituellement plus d'une fois.
	Frapper des deux pectorales [#]	<i>Double pectoral slap</i>	DPS	Les deux nageoires pectorales sortent complètement de l'eau et frappent alternativement la surface de l'eau, habituellement plus d'une fois.
	Éclaboussures non identifiées	<i>Aerial behavior not identified</i>	ANI	Gerbe d'eau plus puissante qu'un souffle provenant d'un comportement aérien (décrit précédemment) non identifié.
Autres	Inactif en surface [#]	<i>Surface inactive</i>	SI	Le haut du corps de l'animal reste en surface, en se déplaçant ou non, parfois en soufflant, l'évent peut être visible ou non, suffisamment longtemps pour exclure un simple souffle (billotage).
	Espionnage	<i>Spyhopping</i>	SH	La tête sort lentement de l'eau à la verticale jusqu'à l'œil pendant au moins quelques secondes.
	Comportement non identifié	<i>Not identified behavior</i>	NI	Tous comportements non décrits précédemment ainsi que tous comportements non identifiables autre que des éclaboussures.

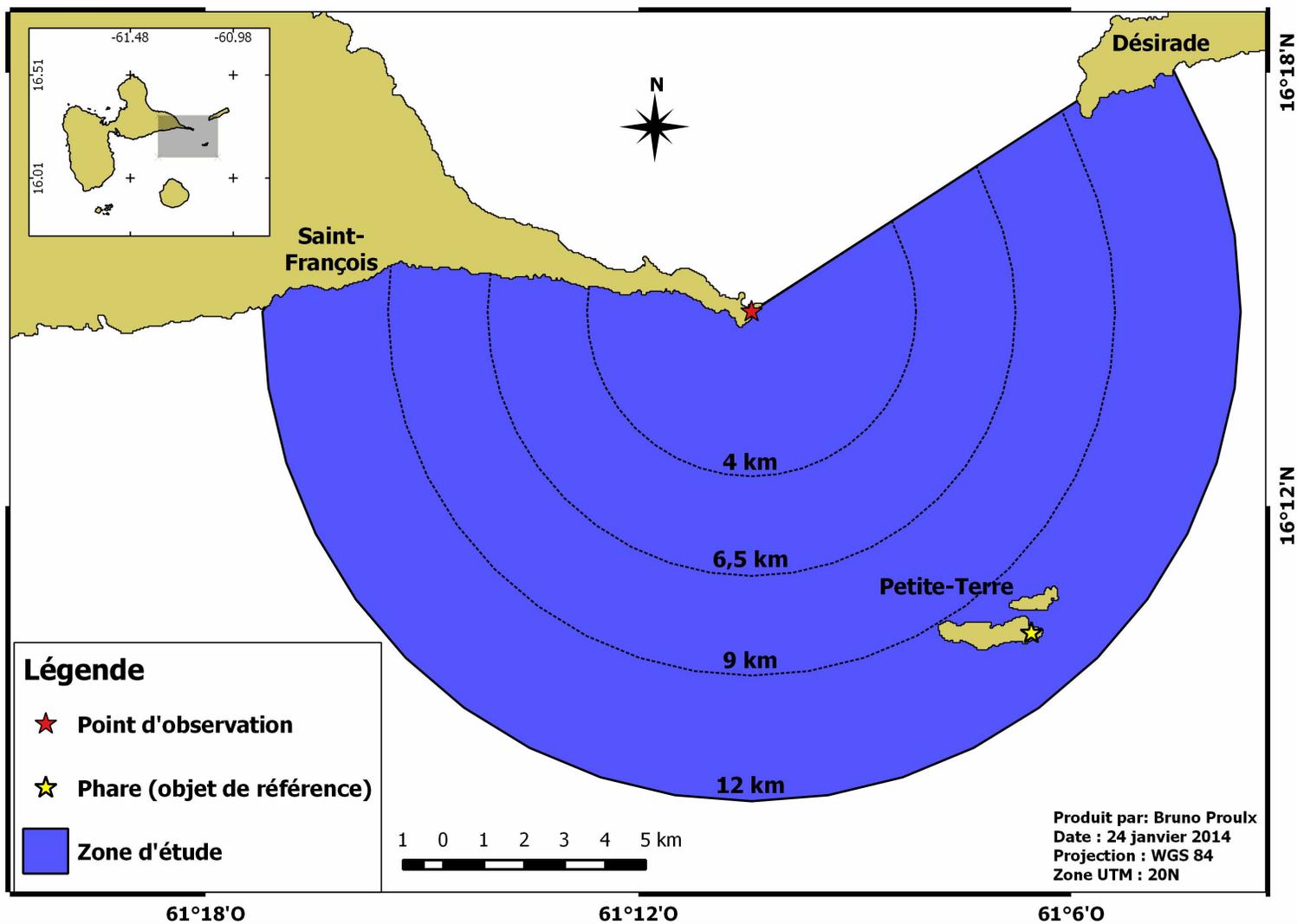
* nouveau au protocole de 2013

état comportemental avec durée et/ou décompte, les autres comportements correspondent à un événement

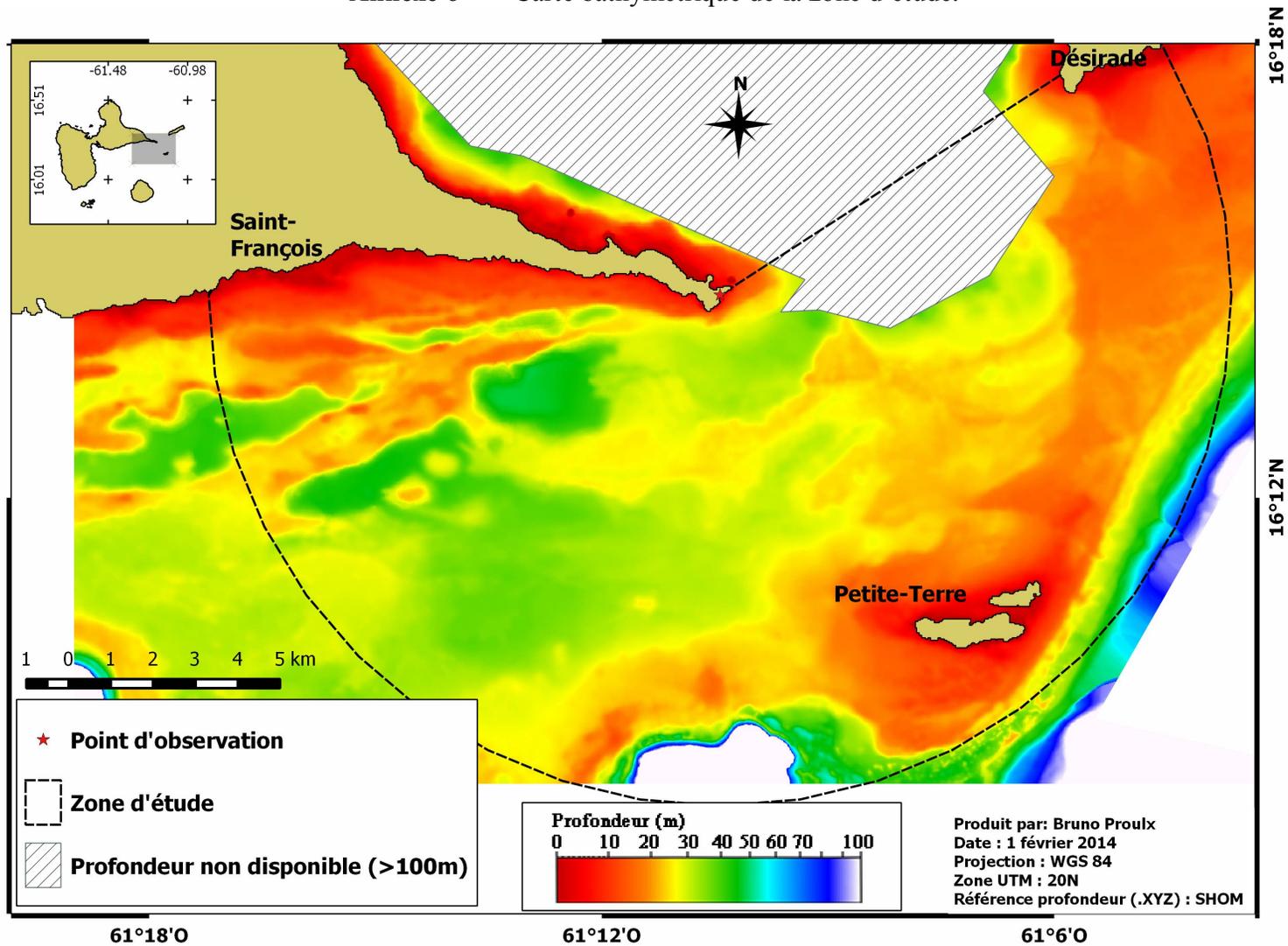
Annexe 4 Éthogramme en surface du rorqual à bosse en période de reproduction



Annexe 5 Carte de la zone d'étude.



Annexe 6 Carte bathymétrique de la zone d'étude.



Annexe 7 Liste du matériel.

Matériel d'observation :

- Théodolite Leica TCRA 1103 PLUS
- Caisson de transport
- Trépied en bois
- Batterie, fils connecteur, et chargeur
- Lecteur de carte mémoire
- Sacs plastiques (protection contre la pluie)
- Jumelle réticulée (BUSHNELL MARINE model # 137500)
- Monopied et adaptateur 90° (pour les jumelles)

Matériel de mesures :

- Ruban à mesurer
- Thermomètre
- 2 montres

Prise de notes :

- Supports pour feuille de note
- Crayons de bois et aiguisoir
- Fiches de note :
 - Météo
 - Abondance des embarcations
 - Suivi des baleines
 - Carte schématique de la zone d'étude

Autres :

- Eau et collations
- Trousse de premiers soins
- Crème solaire et chapeau

Logiciel de compilation et traitements des données :

- Microsoft Excel[©]
- VADAR[©]
- Quantum GIS[©]
- Saga[©]
- R[©]
- Notepad++[©]

Annexe 8 : Fiches de terrain



Vigie rorqual à bosse (*Megaptera novaeangliae*), Pointe-des-Châteaux, St-François, Guadeloupe

Information sur les embarcations présentes dans la zone d'étude

Date	Obs.	Heure	Nombre total embarcations		EST						OUEST						Commentaires : Ex : nom des embarcations commerciales	
					Voile			Moteur			Voile			Moteur				
			Voile	Moteur	P	M	G	P	M	G	P	M	G	P	M	G		



Vigie rorqual à bosse (*Megaptera novaeangliae*), Pointe-des-Châteaux, St-François, Guadeloupe

Informations météo et observateurs

Date	Heure	Théodolite		Jumelles		Note (INI)	Nuag (%)	Visi (%)	Reflet (O/N) %	T° (°C)	Direction		Beaufort		Douglas		Comments :
		INI	cm	INI	cm						Vent	Houle	Mer	Vent	Mer du vent	Houle	
											E N S W	E N S W					
											E N S W	E N S W					
											E N S W	E N S W					
											E N S W	E N S W					
											E N S W	E N S W					
											E N S W	E N S W					
											E N S W	E N S W					
											E N S W	E N S W					
											E N S W	E N S W					
											E N S W	E N S W					
											E N S W	E N S W					
											E N S W	E N S W					
											E N S W	E N S W					
											E N S W	E N S W					
											E N S W	E N S W					
											E N S W	E N S W					
											E N S W	E N S W					
											E N S W	E N S W					

STENELLA : 0690 63 95 43 Nom des Observateurs et Initiales : _____

Annexe 9 Informations météorologiques.

Degré	Beaufort			Douglas	
	Mer	Vent		Mer du vent	Houle
		Km/h	Description		
0	La surface de la mer est unie comme un miroir, mais pas forcément plane.	<2	Calme : La fumée s'élève verticalement.	Calme 0 cm	Aucune
1	Il se forme des rides ressemblant à des écailles de poisson, mais sans écume.	1 à 3	Très légères brises : La fumée, mais non la girouette, indique la direction du vent.	Ridée <10 cm	Peu (courte et basse)
2	Vaguelettes courtes mais plus accusées. Leur crête a une apparence vitreuse mais elles ne déferlent pas. Par bonne visibilité, la ligne d'horizon est toujours très nette.	4 à 6	Légères brises : A 4 noeuds, on commence à sentir le vent sur le visage; les feuilles frémissent et les girouettes bougent.	Belle 10-50 cm	Faible (longue et basse)
3	Très petites vagues. Les crêtes commencent à déferler. Écume d'aspect vitreux. Parfois quelques moutons épars.	7 à 10	Petite brise : Feuilles et brindilles bougent sans arrêt. Les petits drapeaux se déploient.	Peu agitée 0,5-1,25m	Légère (courte et modérée)
4*	Petites vagues devenant plus longues. Présence évidente de moutons.	11 à 16	Jolie brise : Poussières et bout de papier s'envolent. Les petites branches sont agitées.	Agitée 1,25-2,5m	Modérée (moyenne et modérée)
5*	Vagues modérées prenant une forme plus nettement allongée. Formation importante de moutons, premier détail visible sur le plan d'eau. Parfois quelques embruns.	17 à 21	Bonne brise : Les petits arbres feuillus se balancent. De petites vagues avec crête se forment sur les eaux intérieures.	Forte 2,5-4m	Modérée forte (longue et modérée)
>6	De grosses vagues, ou lames, commencent à se former. Les crêtes d'écume blanche sont parfois plus étendues. Les embruns sont fréquents.	>22	Vent frais : Les grosses branches sont agitées. On entend le vent siffler dans les fils téléphoniques et l'usage du parapluie devient difficile.	Basse : <2m Modérée : 2-4m Haute : >4m Courte : <100m Moyenne : 100-200m Longue : >200m	

*Arrêt du suivi pour Douglas >3 et Beaufort >4 et s'il y a présence de moutons

Annexe 10 Informations sur les embarcations.

Types et tailles des embarcations	
Type	Taille
V : voile	P : petite <10m
VM : voile au moteur,	
M : Moteur	M : moyenne 10-25m
SB : Cigarette (<i>speed boat</i>)	
SD : motomarine	
ST : Saintoise	G : grande >25m
N : Navette à moteur	

Comportements des embarcations	
AP:	En approche d'un groupe de baleines
MF :	Déplacement rapide (>10 noeuds), en ligne droite
M :	Déplacement entre 5-10 noeuds, en ligne droite
MS:	Déplacement lent (<5 noeuds), en ligne droite
STA:	Stationnaire, sans mouvement, moteur au neutre ou à l'arrêt
LF:	" <i>leapfrogging</i> ", changement brusque de direction pour positionner l'embarcation dans la trajectoire de la baleine (Williams <i>et al</i> , 2002a)
CP:	Changement de direction brusque
CS:	Changement de vitesse brusque, accélération ou décélération
LE:	Se dirige en sens opposé au groupe de rorquals, quitte la zone d'observation

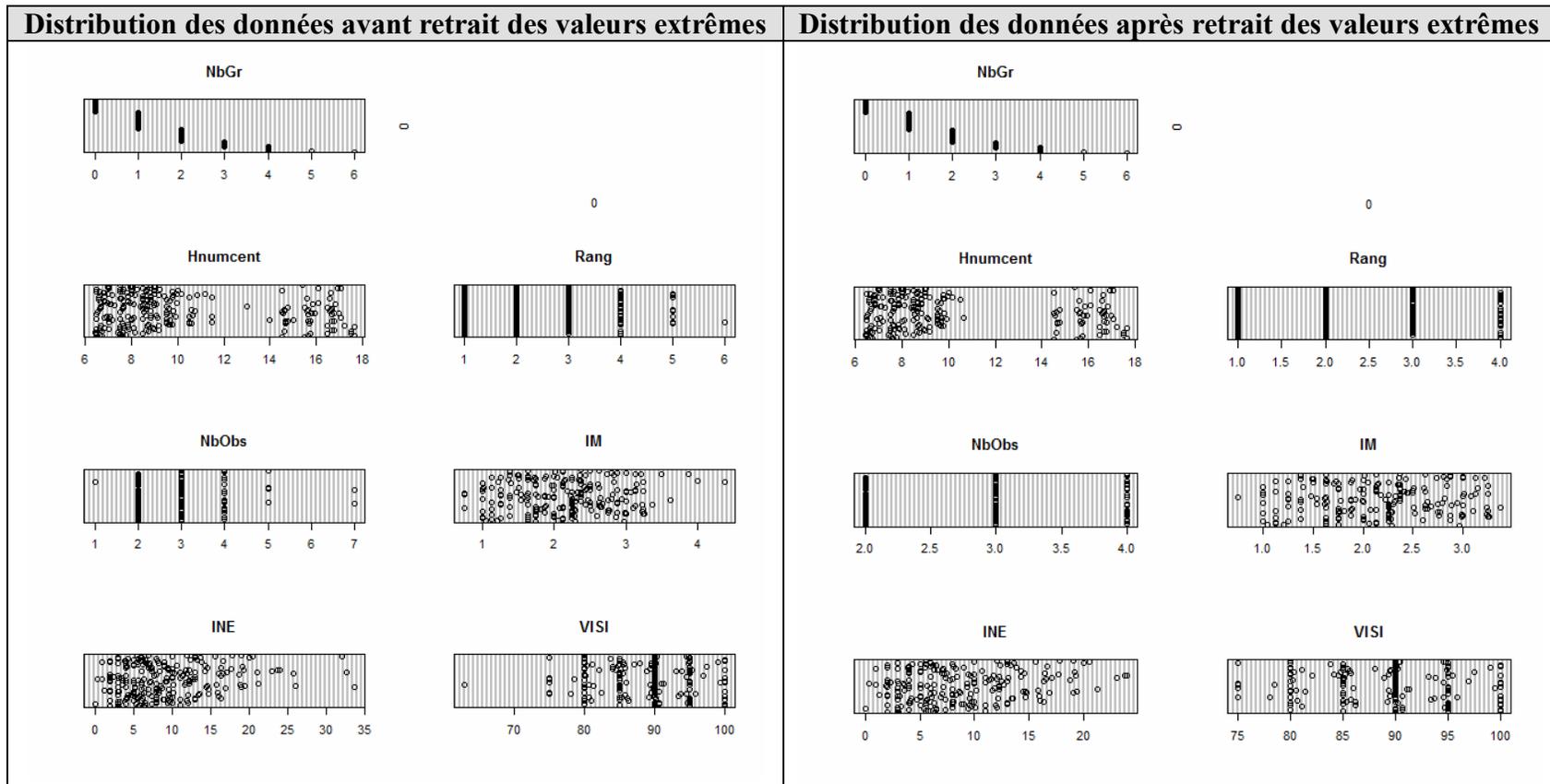
Annexe 11 Variables associées aux groupes sélectionnés (n=107).

Nom	Abrév.	Unité	Description
Variables temporelles	Plusieurs	Plusieurs	Année, mois, jour, jour de l'année, heure de début, heure de fin.
Identifiant du groupe	IDGR	aucune	Identifiant numérique unique à chacun des groupes.
Nombre de positions	nPT	remontées	Nombre de positions géographiques choisies pour la totalité du suivi du groupe.
Durée du suivi	Duree	minutes	Temps entre la première et la dernière observation.
Composition du groupe	CompoGr	aucune	Nombre d'adultes dans le groupe.
Nombre de baleineaux	nCalf	aucune	Nombre de baleineaux dans le groupe.
Distance parcourue	Dparcour	mètre	Distance totale de la trajectoire parcourue par le groupe.
Vitesse de déplacement	Vit	km/h	Vitesse moyenne de déplacement du groupe.
Orientation du groupe	OrientDeg	degré	Orientation générale du groupe (azimut)
Vitesse nette	VitOrient	km/h	Vitesse pour parcourir la distance entre la première et la dernière remontée.
Indice de linéarité	IL	aucune	Indice de trajectoire entre 0 (retour au point de départ) et 1 (parfaite ligne droite). Voir Figure 11.
Position centrale	Xcent Ycent	latitude longitude	Position moyenne de toutes les remontées du groupe.
Indice de variation de vitesse	IVV	Δ vitesse/ remontée	Variation moyenne de la vitesse entre trois remontées consécutives. Voir Figure 11.
Taux de variation de vitesse	TVV	Δ vitesse / heure	Variation de la vitesse par heure. Voir Figure 11.
Indice de réorientation	IR	Δ degré/ remontée	Variation moyenne de l'orientation entre trois remontées consécutives. Voir Figure 11.
Taux de réorientation	TR	Δ degré/ heure	Variation de l'orientation par heure. Voir Figure 11.
Approche à 400 ou 1000 mètres	BDA400 BDA1000	aucune	Variable binaire indiquant si le groupe a été approché par une ou plusieurs embarcations à 400 ou 1000 mètres ou moins à un moment durant le suivi.
Taux individuel de comportement aérien	TICA	C. aériens/ heure/ individu	Taux horaire de comportement aérien (BR, PS, DPS, TS, TH, HH) individuel. Les baleineaux sont considérés comme un individu.
Taux individuel de ventilation	TIV	souffles/ heure/ individu	Taux horaire individuel de respiration (BL). Les baleineaux sont considérés comme un individu. Cette variable comporte une certaine incertitude difficile à quantifier car tous les souffles n'ont pas nécessairement été comptabilisés.
Mâle supposé	MaleSup	aucune	Variable binaire indiquant si le groupe comprend un mâle supposé (1) ou non (0). Établi selon la durée de plongée pour les groupes réguliers sans baleineau avec un signe de plongée franc (FUD ou ABD).

Annexe 12 Variables associées aux remontées (n=699) pour décrire les trajectoires des groupes sélectionnés (n=107).

Nom	Abrév.	Unité	Description
Variables temporelles	Plusieurs	Plusieurs	Année, mois, jour, jour de l'année, heure de la remontée.
Identifiant du groupe	IDGR	aucune	Identifiant numérique unique à chacun des groupes.
Comportement observé	Comport	aucune	Comportement observé lors de la remontée (voir les Annexes 3 et 4).
Composition du groupe	CompoGr	baleines	Nombre d'adultes dans le groupe.
Nombre de baleineaux	nCalf	baleineau	Nombre de baleineaux dans le groupe.
Ordre de la remontée	Ordre	aucune	Position chronologique de la remontée dans le suivi du groupe.
Position de la remontée	LAT LONG	Latitude Longitude	Coordonnées géographiques de la remontée calculées à partir des angles fournis par le théodolite.
Distance du PO	DPO	mètre	Distance entre la remontée et le PO.
Indice du nombre d'embarcation	INE	Embarca.	Interpolation du nombre d'embarcation dans la zone d'étude pour l'heure de la remontée.
Indice météo	IM	aucune	Interpolation de l'indice météo pour l'heure de la remontée.
Intervalle de temps entre les positions	IntMes	minutes	Temps depuis la dernière position observée.
Temps de plongée	DivDur	minutes	Temps depuis la dernière position observée seulement si le suivi comprend des signes de plongée francs (FUD ou ABD), principalement pour les mâles supposés.
Mâle supposé	MaleSup	aucune	Variable binaire indiquant si le groupe comprend un mâle supposé (1) ou non (0). Détail dans le Tableau 7.
Vitesse de déplacement	Vit	km/h	Vitesse de déplacement entre la position et la position précédente.
Orientation	OrientDeg	degré	Orientation du groupe (azimut) entre la position et la position précédente.
Variation de vitesse	VarVit	Δ km/h	Variation de vitesse par rapport à la séquence suivante.
Variation d'orientation	VarOrien Deg	Δ degré	Variation d'orientation par rapport à la séquence suivante.
Indice de linéarité	IL	aucune	Indice de linéarité global par rapport au début du suivi, voir la Figure 11 pour les détails de calcul.
Indice de linéarité local	ILlocal	aucune	Indice de linéarité entre la position présente, la position précédente et la position suivante.
Distance de la côte	Dcote	mètre	Distance de la remontée par rapport à la côte la plus proche.
Distance du corridor de navigation	Dnavet DCroisM DCroisV	mètre	Distance de la remontée du corridor de navigation des navettes ou des croisiéristes à moteur ou à voile.
Distance minimale d'approche	DminBat	mètre	Distance de la plus proche embarcation.
Nombre d'embarcation	nBat100 nBat400 nBat1000	Embarca.	Nombre d'embarcations dans une circonférence de 0-100 mètres, 0-400 mètres et 0-1000 mètres de la remontée du groupe.
Classe d'approche	BDA400classe BDA1000classe	aucune	Variable en 3 classes : B : avant l'approche d'embarcation, D : pendant l'approche d'embarcation(s), A : après l'approche d'embarcation(s). Pour les distance d'approche 0-400 mètres et 0-1000 mètres

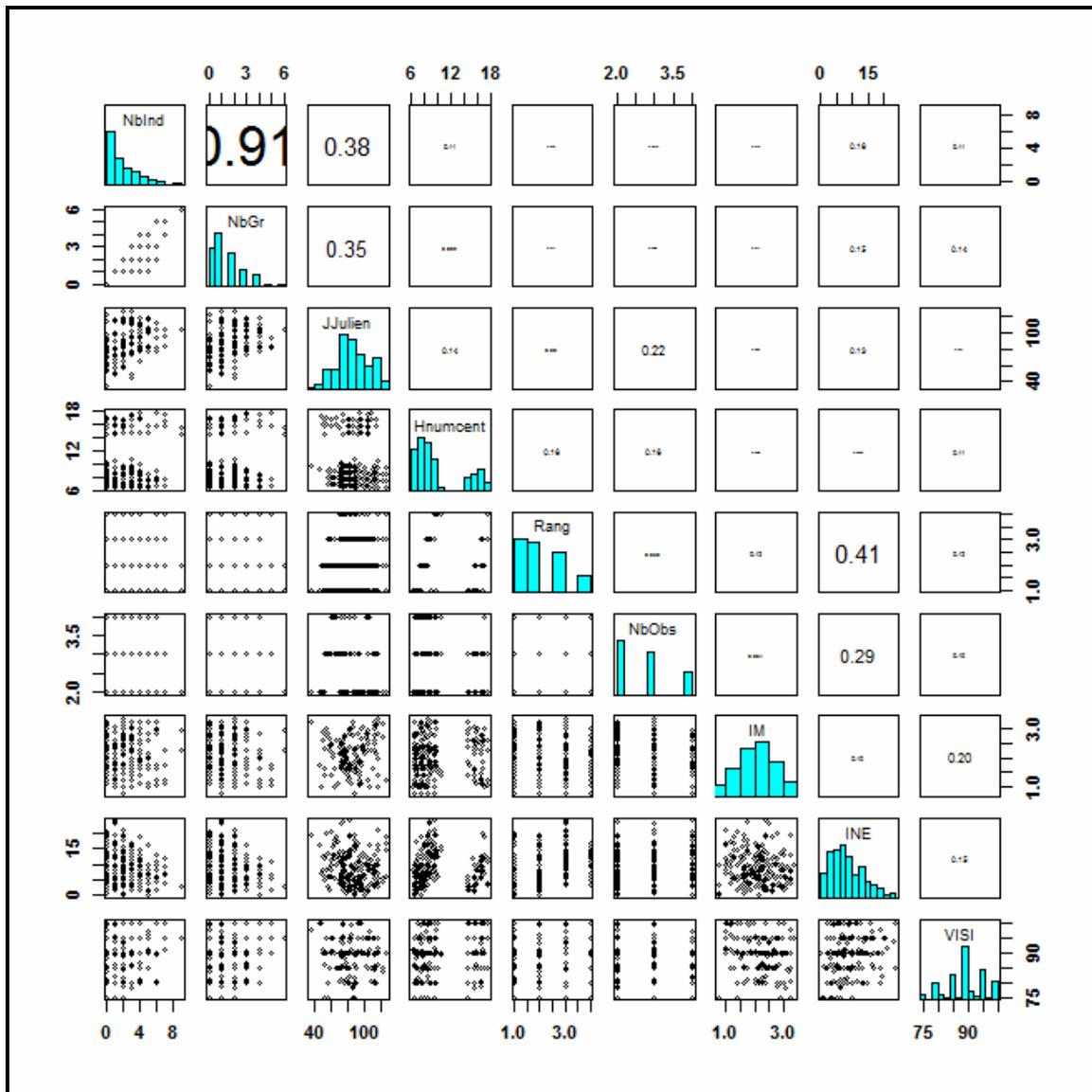
Annexe 13 Graphiques de la distribution des données avant et après le retrait des valeurs extrêmes.



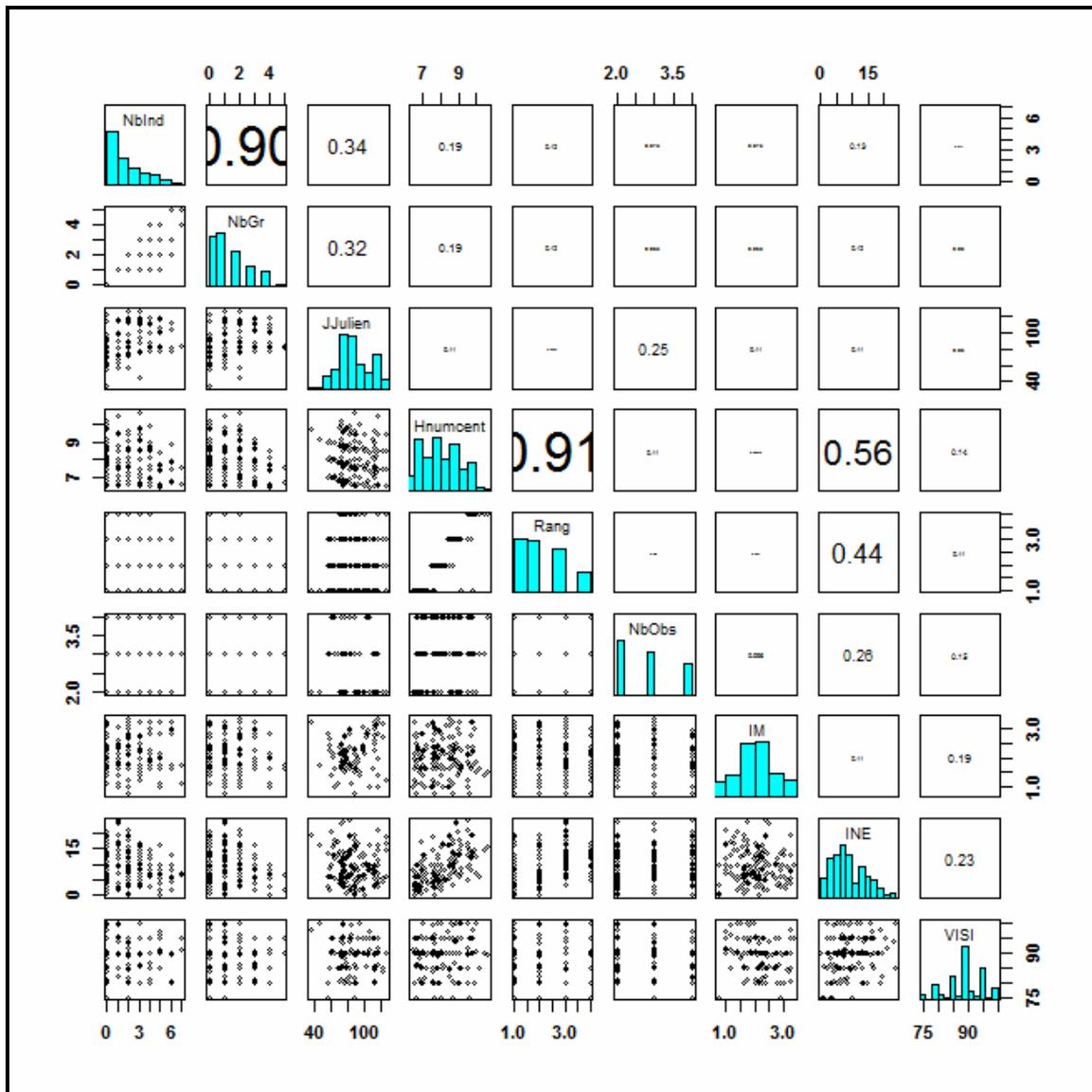
Annexe 14

Colinéarité et corrélations entre les variables réponses et explicatives dans les données ayant servi aux modèles linéaires généralisés de l'abondance relative pour différentes périodes.

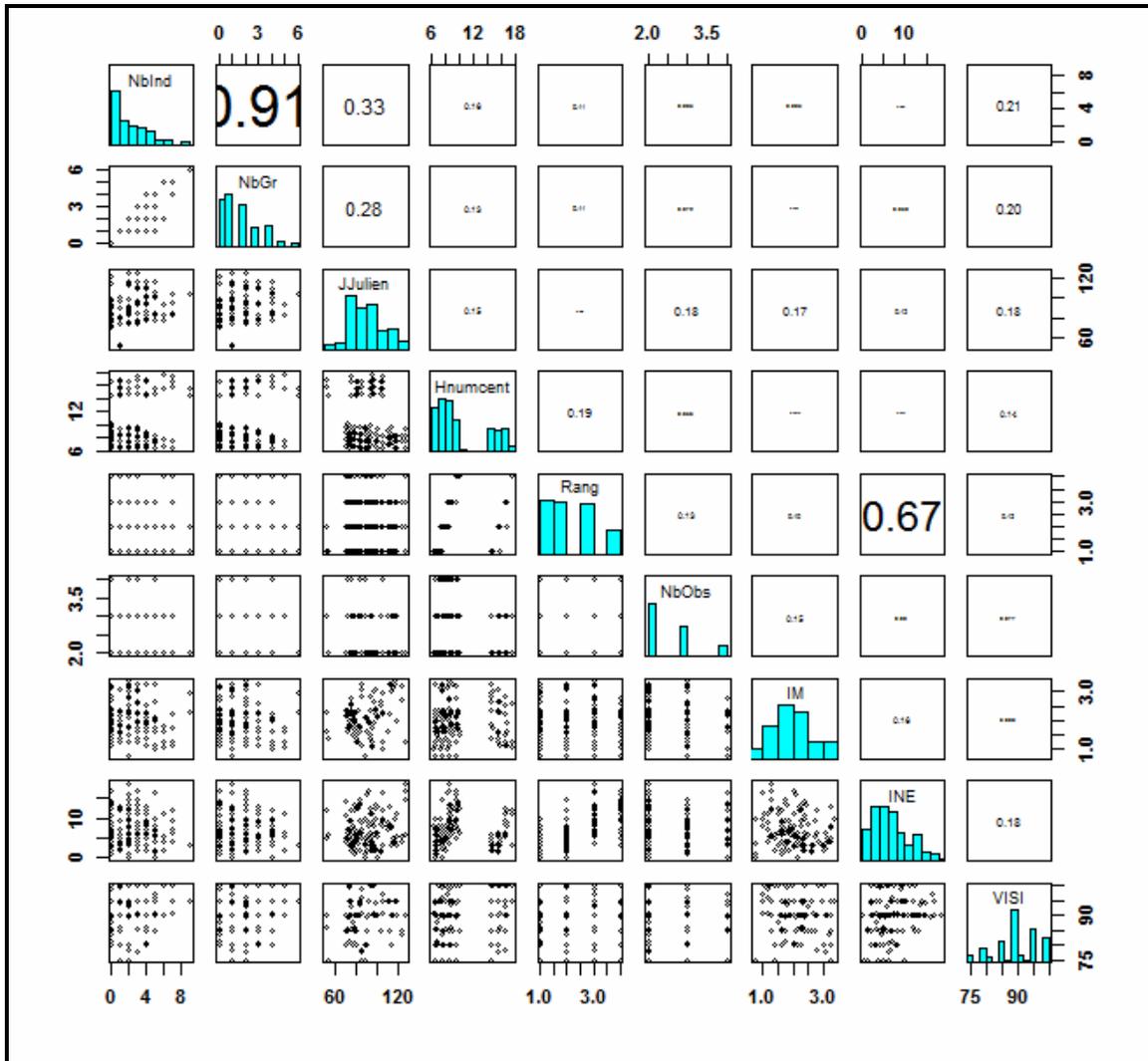
Annexe 14a Colinéarité et corrélations entre les variables réponses et explicatives dans les données ayant servies au modèle linéaire généralisé de l'abondance relative globale de 2012 et 2013 (n=203 BO).



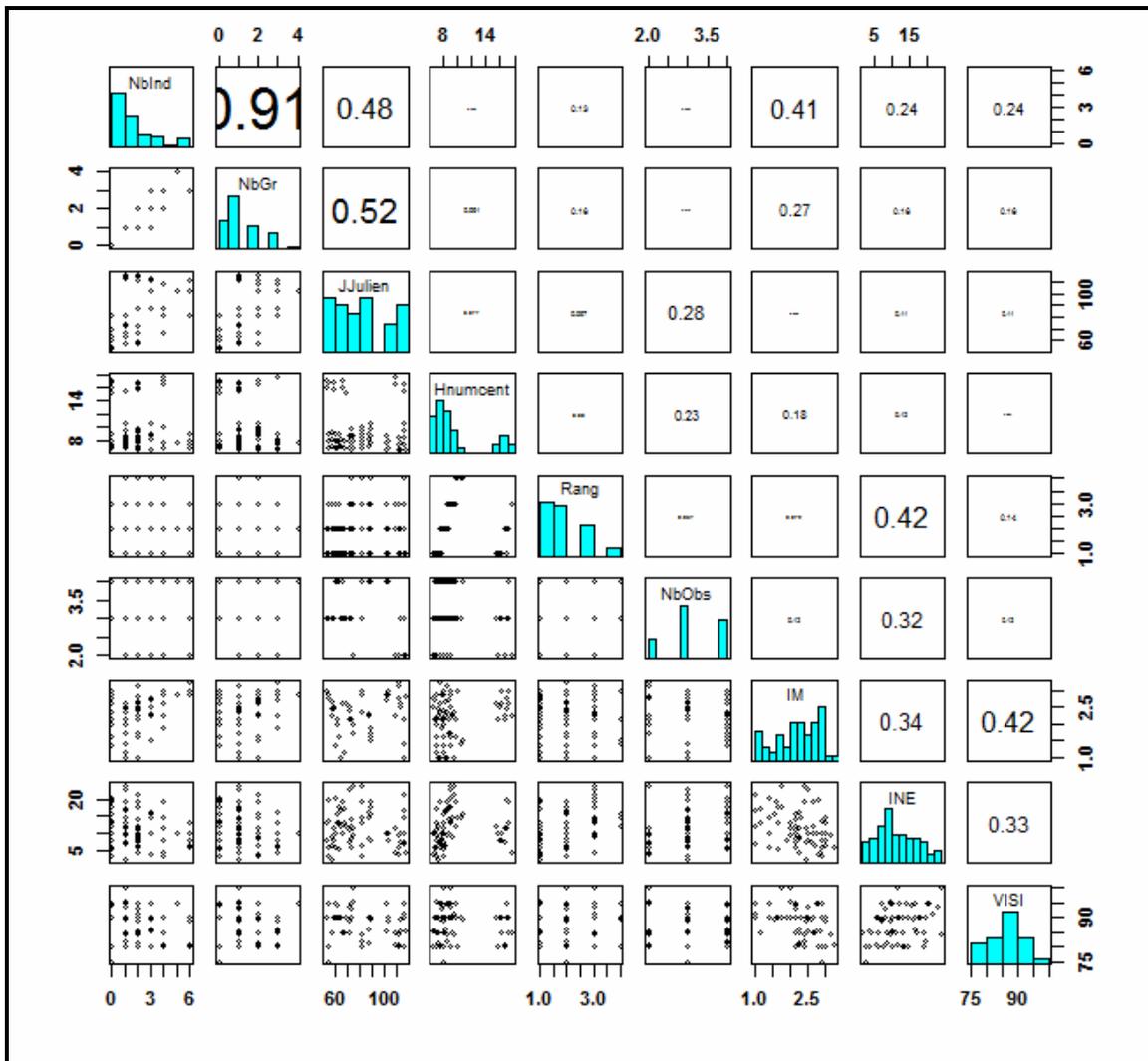
Annexe 14b Colinéarité et corrélations entre les variables réponses et explicatives dans les données ayant servies au modèle linéaire généralisé de l'abondance relative en avant-midi en 2012 et 2013 (n=153 BO).



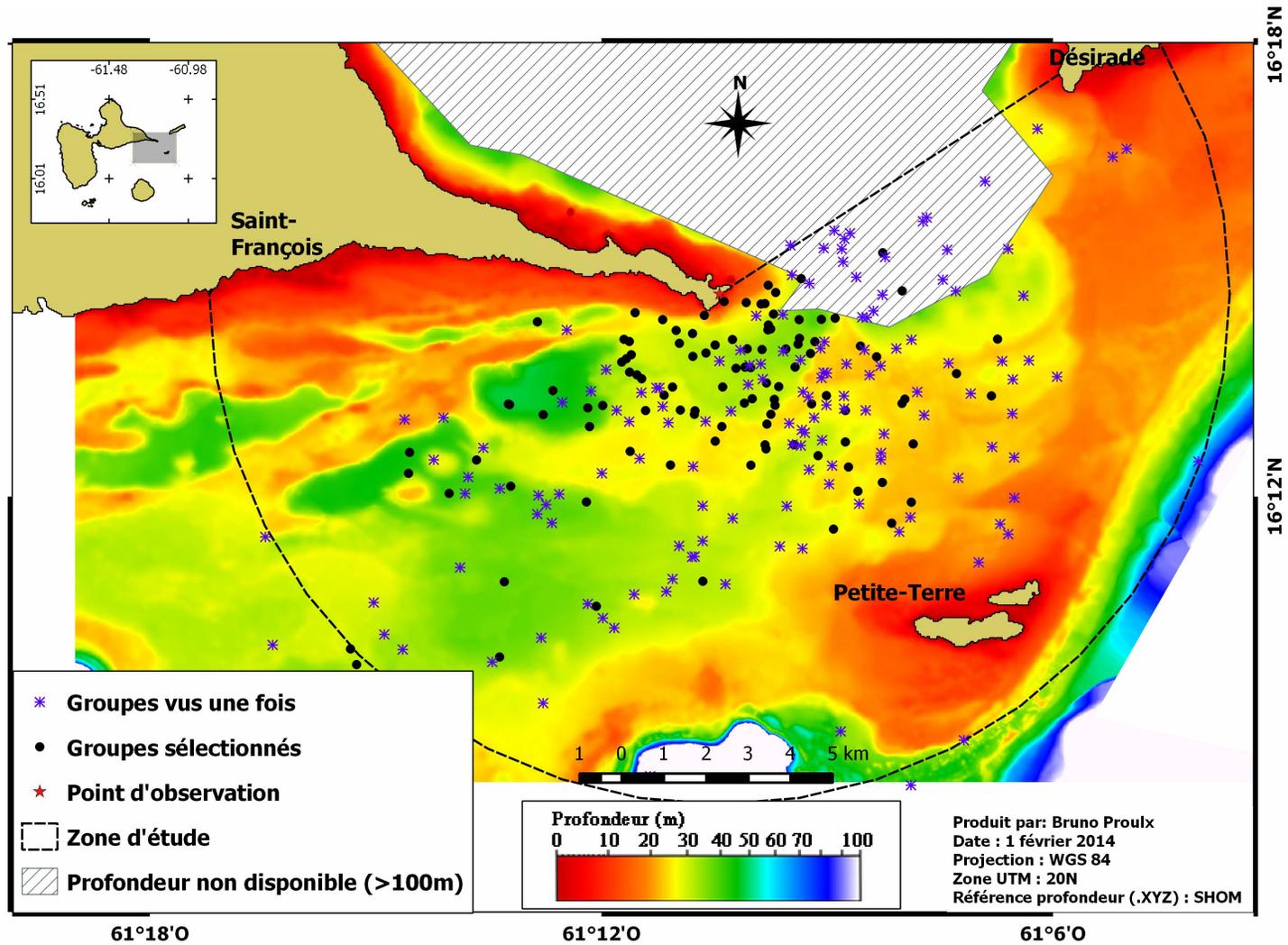
Annexe 14c Colinéarité et corrélations entre les variables réponses et explicatives dans les données ayant servies au modèle linéaire généralisé de l'abondance relative de 2012 (n=134 BO).



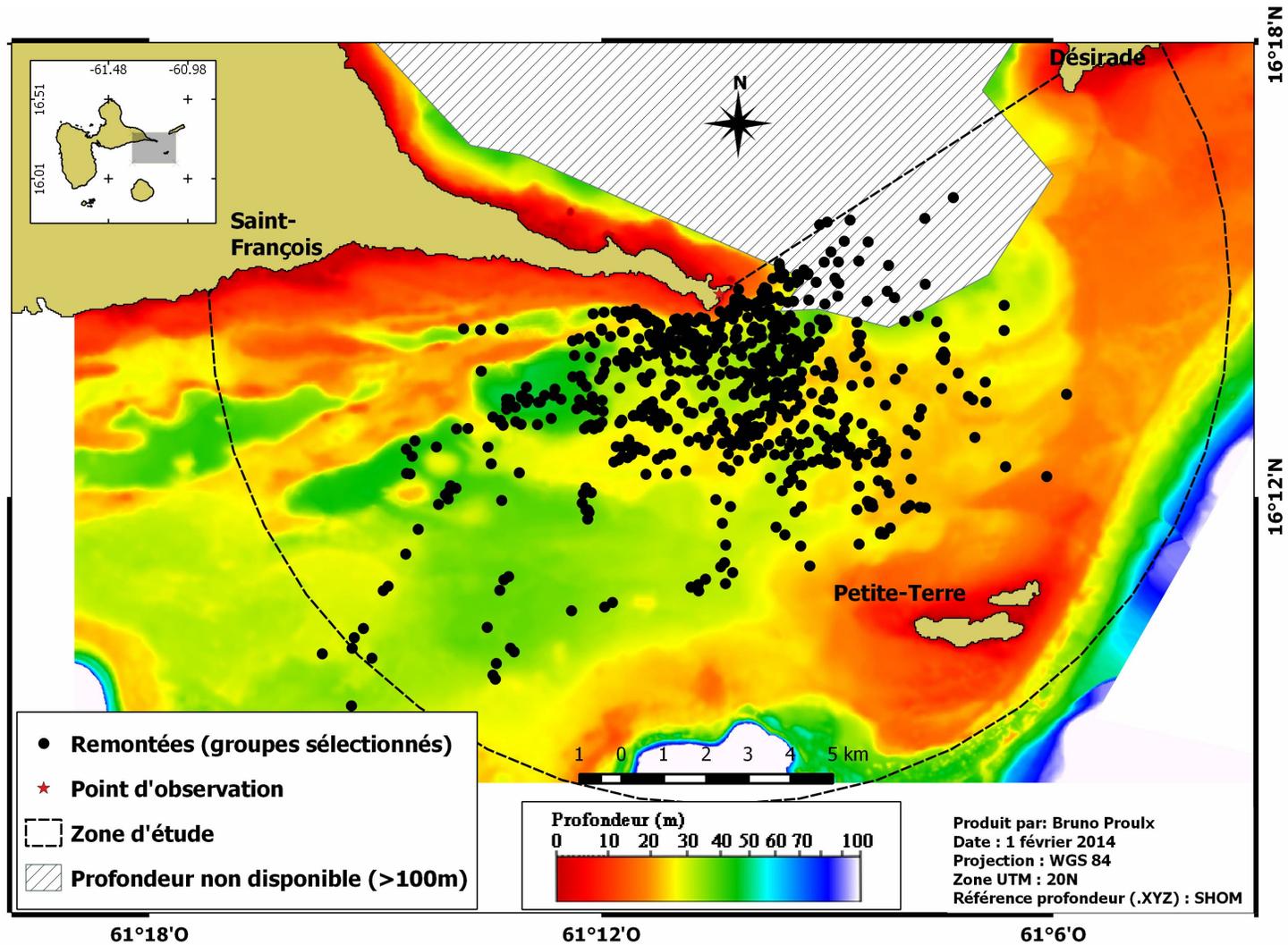
Annexe 14d Colinéarité et corrélations entre les variables réponses et explicatives dans les données ayant servies au modèle linéaire généralisé de l'abondance relative de 2013 (n=69 BO).



Annexe 15 Carte des positions des groupes vus une fois (n=143) et des positions centrales (n=107) des groupes sélectionnés.



Annexe 16 Carte des positions des remontées (n=699) des groupes sélectionnés.



Annexe 17 Fonction R permettant de calculer la probabilité de la vitesse nette orientée par rapport à une orientation aléatoire.

```
TestVitesse = fonction(x, niter=999)
{
# Cette fonction permet de calculer la probabilité qu'une vitesse nette
# orientée soit obtenu par des mouvements aléatoires
# x = data.frame contenant une colonne "VitOrient" pour la vitesse nette et
# une colonne "OrientDeg" avec l'orientation mesurée en degré
# niter = nombre d'itérations pour calculer la probabilité
# La sortie fournie la probabilité ainsi qu'un vecteur contenant les
# orientations en degré générées aléatoirement avec une probabilité uniforme

Vit = x$VitOrient
OrientDeg = x$OrientDeg
OrientRad = OrientDeg*pi/180
n = nrow(x)

VecOrient = OrientDeg

# Calcul des vecteurs de vitesse nette orientée pour les données réelles
Xorient = sin(OrientRad)*Vit
Yorient = cos(OrientRad)*Vit
VitOrient1 = sqrt(sum(Xorient)^2 + sum(Yorient)^2)/n
OrientDeg1 = atan(sum(Xorient)/sum(Yorient))*180/pi
VecVitOrient = VitOrient1

# Génération d'orientation aléatoire.
# Calcul des vecteurs de vitesse nette orientée pour les données générées.
# Calcul de la probabilité.

for (i in 1:niter)
{
OrientDeg = runif(n, min = 0, max = 360)
VecOrient = c(VecOrient,OrientDeg)
OrientRad = OrientDeg*pi/180
Xorient = sin(OrientRad)*Vit
Yorient = cos(OrientRad)*Vit
VitOrient = sqrt(sum(Xorient)^2 + sum(Yorient)^2)/n
VecVitOrient = c(VecVitOrient,VitOrient)
}

Probabilite = length(VecVitOrient[VecVitOrient>=VitOrient1])/length(VecVitOrient)
return (list(Vit.data = VitOrient1, OrientData = OrientDeg1, n=n, niter = niter,
VecVitOrient=VecVitOrient, VecOrient=VecOrient, Probabilite=Probabilite))
}
```

Annexe 18 Sommaire des remontées des groupes observés plus de 45 minutes en avant-midi (n=42) (a) et en après-midi (n=22) (b) et leurs localisations par rapport aux corridors de navigation. Le chiffre au début des lignes noires représente l'identifiant du groupe. La carte en encadrée présente schématiquement les 3 corridors de navigation (détails à la Carte 14).

