



HAL
open science

Étude d'une population de Dauphins long bec (*Stenella longirostris*) inféodée à un milieu insulaire : abondance et habitat dans les eaux réunionnaises sur la période 2013-2021

Aïnoa Boucher

► **To cite this version:**

Aïnoa Boucher. Étude d'une population de Dauphins long bec (*Stenella longirostris*) inféodée à un milieu insulaire : abondance et habitat dans les eaux réunionnaises sur la période 2013-2021. *Médecine vétérinaire et santé animale*. 2022. dumas-03956196

HAL Id: dumas-03956196

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03956196v1>

Submitted on 25 Jan 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ÉTUDE D'UNE POPULATION DE DAUPHINS LONG BEC (*STENELLA LONGIROSTRIS*) INFÉODÉE À UN MILIEU INSULAIRE : ABONDANCE ET HABITAT DANS LES EAUX RÉUNIONNAISES SUR LA PÉRIODE 2013-2021

THESE D'EXERCICE

pour obtenir le titre de
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

DIPLOME D'ÉTAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

BOUCHER Aïnoa, Marie

Directrice de thèse : Mme Nathalie PRIYMENKO

JURY

PRESIDENT :
M. Francis ENJALBERT

Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

ASSESEURS :
Mme Nathalie PRIYMENKO
M. Philippe JACQUIET

Maître de Conférences à l'École Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Liste des directeurs/assesseurs de thèse de doctorat vétérinaire

Directeur : Professeur Pierre SANS

**PROFESSEURS CLASSE
EXCEPTIONNELLE**

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie, thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et industrie des aliments d'origine animale*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, statistiques, modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la reproduction, endocrinologie*
- Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie médicale animale et comparée*

PROFESSEURS 1^{ère} CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et industrie des aliments*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootecnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et thérapeutique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des ruminants*

PROFESSEURS 2^{ème} CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des équidés et des carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, imagerie médicale*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **RABOISSON Didier**, *Médecine de population et économie de la santé animale*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la reproduction*
- Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et industrie des denrées alimentaires d'origine animale*
- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et mathématiques*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES CLASSE NORMALE

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **BRET Lydie**, *Physique et chimie biologiques et médicales*
- Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
- M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie, imagerie médicale*
- M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
- Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie, bactériologie, pathologie infectieuse*
- Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
- Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
- Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
- Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie, analgésie*
- M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des équidés*
- Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
- M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
- M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
- M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire, maladies animales règlementées*
- Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

INGENIEURS DE RECHERCHE

- M. **AUMANN Marcel**, *Urgences, soins intensifs*
- M. **AUVRAY Frédéric**, *Santé digestive, pathogénie et commensalisme des entérobactéries*
- M. **CASSARD Hervé**, *Pathologie des ruminants*
- M. **CROVILLE Guillaume**, *Virologie et génomique cliniques*
- Mme **DEBREUQUE Maud**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **DIDIER Caroline**, *Anesthésie, analgésie*
- Mme **DUPOUY GUIRAUTE Véronique**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
- Mme **GAILLARD Elodie**, *Urgences, soins intensifs*
- Mme **GEFFRE Anne**, *Biologie médicale animale et comparée*
- Mme **GRISEZ Christelle**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **JEUNESSE Elisabeth**, *Bonnes pratiques de laboratoire*
- Mme **PRESSANTI Charline**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **RAMON PORTUGAL Félipe**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
- M. **REYNOLDS Brice**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **ROUCH BUCK Pétra**, *Médecine préventive*
- M. **DELPONT Mattias**, *Clinique Aviaire*
- Mme **POUJADE Agnès**, *Anatomie pathologique Vétérinaire*
- Mme **LAYSSOL-LAMOUR Catherine**, *Imagerie Médicale*

Mise à jour le 01/09/2022

REMERCIEMENTS

A Monsieur le Professeur Francis Enjalbert

Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Alimentation

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider ce jury de thèse.

Hommages respectueux.

A Madame le Docteur Nathalie Priymenko

Maître de Conférences de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

Alimentation

Pour avoir encadré cette thèse et pour votre disponibilité durant sa réalisation.

Sincères remerciements.

A Monsieur le Professeur Philippe Jacquet

Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Parasitologie et maladies parasitaires

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter ce jury de thèse.

Sincères remerciements.

A Vanessa Estrade

Chargée d'études scientifiques à Globice et Docteur vétérinaire

Pour son encadrement précieux et sa bienveillance tout au long du projet.

Toute ma reconnaissance et mon respect.

Aux autres membres de l'association Globice

Pour leur soutien et les beaux moments partagés.

Toute mon estime.

SOMMAIRE

TABLE DES DOCUMENTS	8
LISTE DES TABLEAUX	8
LISTE DES FIGURES	8
LISTE DES CARTES.....	8
LISTE DES ILLUSTRATIONS	9
LISTE DES ANNEXES	9
INTRODUCTION	10
PARTIE 1 : CONTEXTE D'ETUDE	11
1.1. ÉTAT DE L'ART SUR L'ESPECE DAUPHIN LONG BEC A L'ECHELLE MONDIALE	11
1.1.1. <i>Taxonomie</i>	11
1.1.2. <i>Répartition, abondance, habitat</i>	12
1.1.3. <i>Morphologie</i>	13
1.1.4. <i>Reproduction</i>	14
1.1.5. <i>Alimentation</i>	15
1.1.6. <i>Comportement social</i>	16
1.1.7. <i>Menaces</i>	18
1.1.8. <i>Statut de protection</i>	20
1.2. PRESENTATION DE L'ILE DE LA REUNION ET DE SA POPULATION DE DAUPHINS LONG BEC.....	22
1.2.1. <i>L'île de La Réunion</i>	22
1.2.2. <i>État de l'art sur la population réunionnaise de <i>S. longirostris</i></i>	24
PARTIE 2 : ABONDANCE, DISTRIBUTION SPATIALE ET CARACTERISTIQUES TOPOGRAPHIQUES DE L'HABITAT DE LA POPULATION DE DAUPHINS LONG BEC REUNIONNAISE SUR LA PERIODE 2013-2021	26
2.1. MATERIEL ET METHODES.....	26
2.1.1. <i>Collecte des données</i>	26
2.1.2. <i>Sélection et traitement des données</i>	29
2.1.3. <i>Analyse des données</i>	32
2.2. RESULTATS	39
2.2.1. <i>Estimation d'abondance</i>	39
2.2.2. <i>Distribution spatiale et caractéristiques topographiques de l'habitat</i>	42
PARTIE 3 : DISCUSSION ET PERSPECTIVES	48
3.1. ESTIMATION D'ABONDANCE	48
3.1.1. <i>Résultats d'abondance</i>	48
3.1.2. <i>Méthodes</i>	48

3.2. DISTRIBUTION SPATIALE ET CARACTERISTIQUES TOPOGRAPHIQUES DE L'HABITAT	52
3.2.1. <i>Comparaison à une étude antérieure à La Réunion</i>	52
3.2.2. <i>Comparaison à d'autres régions</i>	54
3.2.3. <i>Perspectives : étude de l'habitat nocturne</i>	55
3.3. VULNERABILITE DE LA POPULATION A L'ECHELLE DE LA REUNION : FOCUS SUR LE WHALE-WATCHING.....	56
3.3.1. <i>Généralités sur le whale-watching à La Réunion</i>	56
3.3.2. <i>Exposition des Dauphins long bec aux bateaux de whale-watching</i>	59
3.3.3. <i>Impact du whale-watching sur les Dauphins long bec</i>	60
3.3.4. <i>Perspectives concernant la réglementation du whale-watching</i>	61
3.3.5. <i>Autres menaces dans les eaux réunionnaises</i>	62
3.4. PERSPECTIVES : ETUDE DE LA DYNAMIQUE DE POPULATION	63
CONCLUSION	65
REFERENCES.....	66
ANNEXES	81

Table des documents

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats du *CloseTest* sur les périodes juin-octobre de 2013 à 2021

Tableau 2 : Récapitulatif des arguments en faveur (+) ou défaveur (-) des différentes hypothèses du *Robust Design*

Tableau 3 : Récapitulatif des valeurs de N_D , N_{tot} , et θ , et leur méthode d'estimation

Tableau 4 : Statistiques basiques sur les données de bathymétrie, pente, et distance à la côte des observations de Dauphins long bec entre 2013 et 2021

Liste des figures

Figure 1 : Répartition des observations de Dauphins long bec sur la période d'étude

Figure 2 : Représentation schématique des deux niveaux d'échantillonnage du *Robust Design* appliqués à notre période d'étude

Figure 3 : Courbe de découverte des Dauphins long bec marqués au cours du temps

Figure 4 : Variation de l'abondance totale au cours des années, et variances associées

Figure 5 : Répartition des observations de Dauphins long bec entre 2013 et 2021 par type de substrat (n=393)

Figure 6 : Répartition des observations de Dauphins long bec réalisées sur substrat sableux entre 2013 et 2021 en fonction de la couleur (et origine) de celui-ci (n=359)

Figure 7 : Répartition des observations de Dauphins long bec entre 2013 et 2021 en fonction de la pente du fond océanique (n=421)

Figure 8 : Répartition des observations de Dauphins long bec entre 2013 et 2021 en fonction de la distance à la côte (n=423)

Figure 9 : Répartition des observations de Dauphins long bec entre 2013 et 2021 en fonction de la bathymétrie (n=421)

Liste des cartes

Carte 1 : Répartition mondiale des sous-espèces de *Stenella longirostris*

Carte 2 : Localisation de l'île de La Réunion à différentes échelles

Carte 3 : Nature des substrats autour de la côte Ouest de La Réunion

Carte 4 : Zone d'étude sélectionnée pour l'estimation d'abondance

Carte 5 : Effort de prospection sur la période 2013-2021

Carte 6 : Fréquence d'observation des Dauphins long bec sur la période 2013-2021

Carte 7 : Distribution spatiale des observations de Dauphins long bec entre 2013 et 2021, avec indication des proportions au large de St Gilles et des Avirons

Carte 8 : Couleur du substrat sous-marin autour de la côte Ouest de La Réunion

Carte 9 : Localisation de la Réserve naturelle marine de La Réunion

Carte 10 : Risque d'exposition des Dauphins long bec aux bateaux de plaisance (à gauche) et en particulier aux navires de compagnies de *whale-watching* (à droite)

Liste des illustrations

Illustration 1 : Saut de *Stenella longirostris longirostris*

Illustration 2 : Apparence typique des mâles matures des formes de Dauphin long bec Pacifique orientale (gauche), Hydride (milieu), de Gray (droite)

Illustration 3 : Exemples de nageoires dorsales illustrant les deux types de marqueurs utilisés dans la photo-identification

Illustration 4 : Dorsales de Dauphins long bec de différents niveaux de marquage

Illustration 5 : Exemple de photographie utilisée pour la détermination de θ et niveau de marquage associé à chaque individu

Illustration 6 : Comparaison des nageoires dorsales de même degré de marquage chez le Grand dauphin commun (haut) et le Dauphin long bec (bas)

Liste des annexes

Annexe 1 : Physionomie comparative de *Stenella longirostris* et *Stenella attenuata*

Annexe 2 : Résultats des 20 premiers modèles du *Robust Design* classés par ordre croissant d'AIC

Annexe 3 : Cartographies de l'effort et des fréquences d'observations par année

Annexe 4 : Logo du label "Observation Certifiée Responsable des Cétacés à La Réunion"

Annexe 5 : Mémento de la Charte d'approche et d'observation responsables des cétacés et des tortues marines à La Réunion

Introduction

Dans un contexte de pression anthropique croissante sur l'écosystème marin, la recherche scientifique sur les cétacés permet la mise en place de mesures adaptées, réglementant les activités potentiellement néfastes pour ces mammifères marins.

Dans les eaux réunionnaises, à l'Ouest de l'Océan Indien, trois espèces de dauphins sont particulièrement exposées aux activités littorales humaines, en raison de leur habitat côtier. Objet de la présente étude, la population de Dauphins long bec réunionnais est fréquemment rencontrée par les usagers de la mer, mais encore relativement méconnue. Ainsi, en 2013, l'évaluation par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) ne permet pas d'estimer le niveau de menace relatif à cette espèce à l'échelle régionale, en raison du manque de données scientifiques.

La présente thèse est réalisée en parallèle du projet "LongBec" mené par Globice (Groupe Local d'Observation et d'Identification des Cétacés), association réunionnais dédiée depuis 2001 à la recherche scientifique sur les cétacés et à leur conservation. Après une présentation générale de l'espèce à l'échelle mondiale et réunionnais et du contexte géographique de cette étude, la partie expérimentale s'attachera, sur la période 2013-2021, à estimer l'abondance puis décrire la distribution spatiale et les caractéristiques topographiques de l'habitat de la population de Dauphins long bec à La Réunion. Enfin, sera discutée la vulnérabilité de celle-ci, en particulier vis-à-vis de l'activité de *whale-watching* (observation des cétacés) locale.

PARTIE 1 : CONTEXTE D'ETUDE

1.1. État de l'art sur l'espèce Dauphin long bec à l'échelle mondiale

1.1.1. Taxonomie

Les cétacés, infraordre de mammifères aquatiques, se divisent en deux microordres :

- les Odontocètes, ou cétacés à dents, qui comportent des espèces génériquement appelées baleines à dents, marsouins, ou dauphins. Tous possèdent un évent externe unique.

- les Mysticètes, ou cétacés à fanons, tous qualifiés de baleines. Ils possèdent deux événements externes.

Chez les Odontocètes, le genre *Stenella* (famille des Delphinidés), qui signifie étymologiquement "étroit" en référence à leur rostre long et fin, regroupe cinq espèces : le Dauphin long bec (*S. longirostris*), le Dauphin tacheté pantropical (*S. attenuata*), le Dauphin tacheté de l'Atlantique (*S. frontalis*), le Dauphin de Clymène (*S. clymene*) et le Dauphin bleu et blanc (*S. coeruleoalba*).

Objet de cette étude, l'espèce Dauphin long bec (*Stenella longirostris*) est l'une des plus complexes du point de vue taxonomique puisqu'elle est représentée par au moins quatre sous-espèces ou "formes" :

- la forme de Gray ou Hawaïenne (*S. longirostris longirostris*),
- la forme du Pacifique Oriental (*S. longirostris orientalis*),
- la forme d'Amérique centrale (*S. longirostris centramericana*),
- la forme naine (*S. longirostris roseiventris*)

Il existe également une forme hybride, dite forme à ventre blanc (*S. longirostris longirostris x orientalis*).

Ces différentes formes se distinguent par des critères morphologiques et génétiques, ainsi que par leur répartition géographique (Perrin, 1990, 1998).

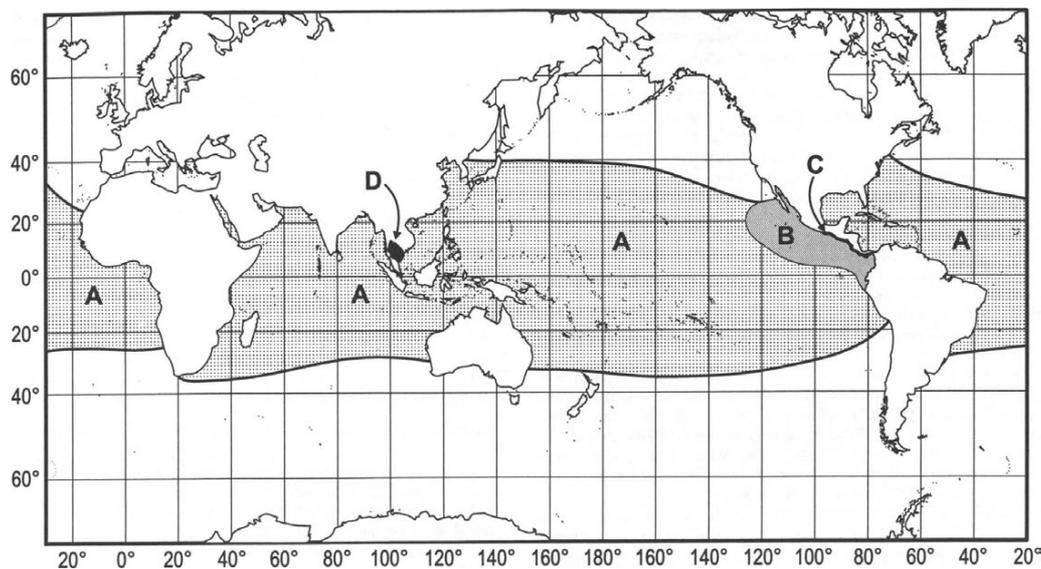
Le Dauphin long bec, également appelé Sténelle à long bec ou Dauphin longirostre, ne doit pas être confondu avec une autre espèce portant un nom vernaculaire proche : le Dauphin commun à long-bec (*Delphinus capensis*).

1.1.2. Répartition, abondance, habitat

Le Dauphin long bec est présent dans les eaux tropicales et subtropicales entre 40°S et 40°N (Perrin, 1998). Les sous-espèces ont des répartitions distinctes (carte 1).

S. longistris longirostris possède la plus large distribution puisqu'il est présent dans les océans Indien, Atlantique, et Pacifique, à l'exception du Pacifique Est tropical où il est remplacé par *S. longirostris orientalis*, *S. longirostris centroamericana* et *S. longirostris orientalis x longirostris*. *S. longistris roseiventris* est uniquement présent dans certaines eaux de l'Asie du Sud-Est et du Nord de l'Australie (Shirihai & Jarrett 2020). Il n'existe pas d'estimation de l'abondance mondiale, mais la somme des estimations de différentes régions du monde dépasse le million d'individus (Bearzi *et al.*, 2012).

Si dans le Pacifique Est certaines populations entreprennent des migrations pélagiques saisonnières sur des distances importantes (2500 km) (Reilly, 1990), la plupart des populations semblent davantage côtières et inféodées à des territoires plus restreints (Norris *et al.*, 1994 ; Benoit-Bird & Au, 2003a). Dans ce deuxième cas et dans le Pacifique, les dauphins suivent un rythme circadien dans l'occupation de leur habitat : ils sont observés en journée près des côtes, où ils se reposent, se reproduisent et socialisent, puis se dirigent en fin de journée vers les eaux plus profondes du large pour s'y nourrir la nuit (Norris *et al.*, 1994 ; Tyne *et al.*, 2014).



Carte 1 : Répartition mondiale des sous-espèces de *Stenella longirostris*

A = *S.l. longirostris* ; B = *S.l. orientalis* ; C = *S.l. centroamericana* ; D = *S.l. roseiventris*

(Source : Perrin, 1998)

1.1.3. Morphologie

La morphologie du Dauphin long bec varie selon les sous-espèces et populations. Néanmoins, tous partagent les caractéristiques suivantes (illustration 1) :

- (1) un corps mince, petit (entre 1,3 et 2,3 mètres) et léger (entre 55 et 80 kg adulte), comparativement à la majorité des autres espèces de dauphins ;
- (2) une tête allongée, avec un front en pente séparé du rostre par un pli ;
- (3) un rostre long (un peu moins de 10% de la longueur du corps) et sombre au niveau de la mâchoire supérieure, des lèvres, et du bout du bec ;
- (4) une bande sombre reliant l'œil à la nageoire pectorale ;
- (5) des nageoires pectorales de taille moyenne et très pointues ;
- (6) une nageoire dorsale centrée au niveau du dos, grande proportionnellement à la taille de leur corps, souvent triangulaire ;
- (7) une nageoire caudale petite et grise.

Concernant la coloration, *S. longirostris longirostris* est tricolore (cape sombre, flancs gris pâle, ventre blanchâtre), *S. longirostris roseiventris* est bicolore (gris et ventre blanchâtre), et *S. longirostris orientalis* et *S. longirostris centroamericana* sont uniformément gris (Perrin, 1998 ; Shirihai & Jarret, 2020).

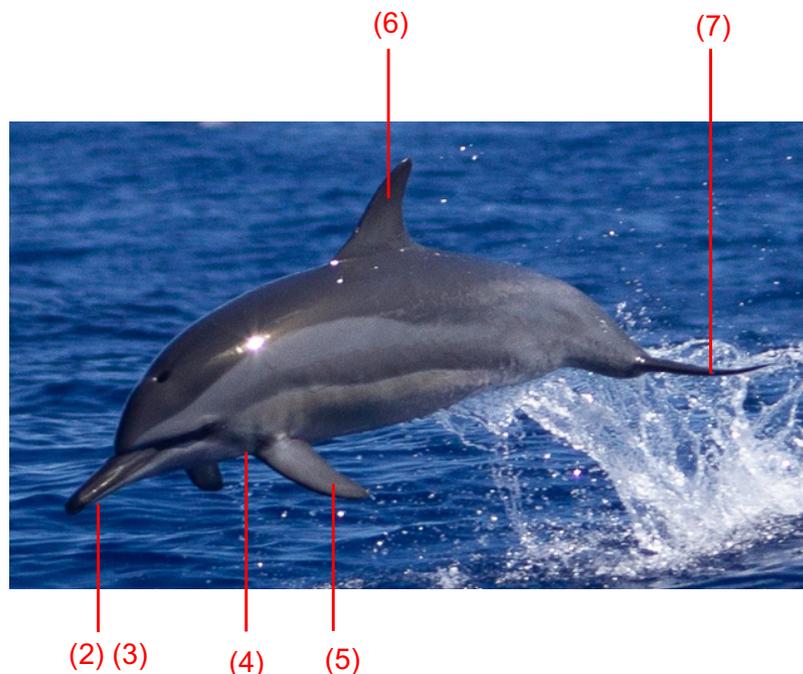


Illustration 1 : Saut de *Stenella longirostris longirostris*
Noter les caractères morphologiques (2) à (7) précédemment décrits.
(Photographie : Globice)

1.1.4. Reproduction

1.1.4.1. Dimorphisme sexuel et stratégie de reproduction

La maturité sexuelle du Dauphin long bec est atteinte entre 4 et 7 ans chez les femelles, 7 et 10 ans chez les mâles, pour une longévité d'environ 20 ans (Myrick Jr *et al.*, 1983 ; Perrin & Gilpatrick, 1994). Il y aurait une saisonnalité de la reproduction, variable entre les populations (Norris *et al.*, 1994).

Chez les cétacés, l'intériorisation des organes génitaux ne permet pas le sexage par leur observation directe. À l'exception de quelques espèces, le sexage à l'examen externe ne se fait qu'à partir de la position de l'anus par rapport à la fente génitale : il y est inclus chez la femelle, et en est distinct chez le mâle.

Un dimorphisme sexuel basé sur la nageoire dorsale a été mis en évidence chez la forme Pacifique Orientale du Dauphin long bec, avec des nageoires dorsales inclinées vers l'avant et un renflement post-anal chez le mâle, et une dorsale droite (triangulaire) ou inclinée vers l'arrière (falciforme), sans renflement post-anal, chez la femelle. Il n'y aurait pas ou peu de dimorphisme sexuel chez les autres formes (illustration 2). Une étude s'intéressant à l'importance du dimorphisme sexuel, au poids testiculaire et au nombre de mâles semblant participer à la reproduction, ainsi que l'extrapolation de corrélations établies à l'échelle interspécifique chez de nombreux mammifères, suggère des stratégies de reproduction différentes entre les différentes formes. La forme Pacifique orientale serait polygyne (un mâle s'accouplant avec plusieurs femelles, mais une femelle ne s'accouplant qu'avec un mâle au cours d'une saison d'accouplement) et les autres formes plutôt polygynandres (les mâles fécondant plusieurs femelles et les femelles étant fécondées par plusieurs mâles) (Perrin, 2003).

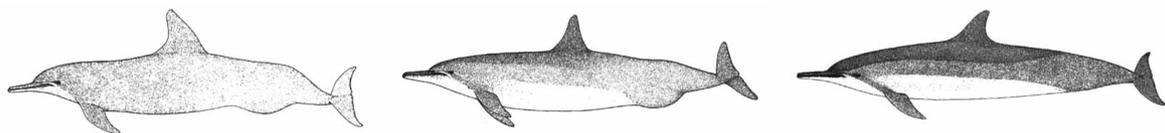


Illustration 2 : Apparence typique des mâles matures des formes de Dauphin long bec Pacifique Orientale (gauche), Hydride (milieu), Gray (droite)

Noter l'inclinaison de la dorsale et la présence ou non d'un renflement post-anal.

(Source : Perrin, 1990)

1.1.4.2. *Gestation, allaitement*

La femelle met bas d'un petit tous les 3 ans environ (Perrin *et al.*, 1977). La durée de gestation, 10 à 11 mois, paraît, comme chez la plupart des petits cétacés, longue rapportée au poids de l'espèce (Perrin *et al.*, 1997). Ceci est à relier à un poids de naissance important (les nouveau-nés mesurant plus du quart de leur mère et pesant le dixième de leur poids), compensant la vulnérabilité des espèces de petite taille à l'hypothermie. À titre de comparaison, au sein des Mysticètes, la Baleine bleue (150 tonnes environ) met bas d'un baleineau qui pèse soixante-fois moins qu'elle, à l'issue d'une gestation de 11 mois également.

L'allaitement dure de plusieurs mois à deux ans (Perrin, 1998). Contrairement aux Mysticètes, les Odontocètes ne jeûnent pas pendant l'allaitement (Oftedal, 1997).

1.1.5. Alimentation

1.1.5.1. *Régime alimentaire et période de nourrissage*

Les Dauphins long bec se nourrissent de poissons mésopélagiques de moins de 20 cm, essentiellement de la famille des Myctophidés (poissons-lanternes), de céphalopodes (calamars, pieuvres, seiches) et de crevettes (Cadenat & Doutre, 1959 ; Norris *et al.*, 1994 ; Dolar *et al.*, 2003). En journée, ces proies se situant entre 400 m et 700 m de profondeur ne sont pas atteignables par les Dauphins long bec, qui plongent à des profondeurs maximales de 400 m (Dolar *et al.*, 2003), et de 250 m en action de chasse (Fitch & Brownell, 1968). En fin de journée et durant la nuit, les proies effectuent une migration verticale vers des eaux moins profondes, et deviennent ainsi accessibles (Fitch & Brownell, 1968 ; Perrin & Gillpatrick, 1995 ; Norris *et al.*, 1994 ; Benoit-Bird & Au, 2003b). Dans le Pacifique, où ils sont le plus largement étudiés, la migration vers le large du Dauphin long bec en fin de journée est donc associée à la migration verticale de ses proies.

En évaluant la valeur calorique des proies et les besoins caloriques du dauphin, des études réalisées dans l'Océan Pacifique estiment qu'un Dauphin long bec doit consommer entre 22 et 46 proies de 2,5 cm par minute durant une phase de nourrissage (environ 11 heures) (Benoit-Bird, 2004).

On ne sait pas si les proies et la période de nourrissage sont les mêmes pour toutes les populations de l'Océan Indien et Atlantique.

1.1.5.2. Comportement de chasse coordonnée

Des stratégies de chasse collective ont été observées (Benoit-Bird & Au, 2003b), mais les profondeurs de chasse parfois importantes font qu'elles n'ont pu être précisément explorées que par des techniques acoustiques. Leur coordination repose sur la capacité d'écholocalisation des dauphins par l'émission et la réception de signaux sonars impulsifs dits "clics" (Schotten *et al.*, 2004 ; Benoit-Bird & Au, 2009). Elle permet de détecter et localiser leurs proies et congénères, mais également d'obtenir des informations comme leur taille, vitesse, direction, la présence d'obstacles. Dans l'Océan Pacifique, on sait que les Dauphins long bec forment des groupes de chasse de taille inversement corrélée à la densité du banc qu'ils chassent. Un groupe évolue d'abord en ligne pour détecter puis faire remonter les proies, puis en cercle pour les regrouper. Les dauphins se relayent alors par paire pour se nourrir. La reproductivité de la géométrie et de la chronologie des différentes phases suggère le caractère avantageux de celles-ci. Les concentrations en proies obtenues compensent leur petite taille individuelle et, malgré le coût énergétique engendré par la participation aux manœuvres collectives, chaque dauphin a des chances plus élevées de combler ses besoins énergétiques que s'il chassait seul (Benoit-Bird & Au, 2009). Lorsqu'ils chassent, il n'est pas rare que des oiseaux marins profitent du regroupement des bancs de poissons pour se nourrir également.

1.1.6. Comportement social

1.1.6.1. Vie sociale entre congénères

- Saut et jeu

Les Dauphins long bec vivent en groupes de plusieurs dizaines à plusieurs milliers d'individus (Gerrodette & Forcada, 2005). Ils sont très actifs, et caractérisés par la capacité à effectuer des sauts dits vrillés, c'est-à-dire en rotation autour de leur axe longitudinal. Ils peuvent effectuer jusqu'à 7 tours complets et atteindre 3 mètres de hauteur. Ces sauts auraient un rôle dans le jeu et la communication (Norris *et al.*, 1994). Très joueurs, les jeunes se pourchassent fréquemment les uns les autres. Adultes et jeunes s'amuse, parfois à plusieurs, avec des algues flottantes ou des poissons (Silva Jr *et al.*, 2005).

- Repos

Ils se reposent par groupes de quelques individus à une vingtaine d'individus, progressant lentement, et remontant à la surface toutes les quelques secondes à minutes, toujours en formation groupée (Silva Jr *et al.*, 2005).

- Communication sociale

Les Dauphins long bec communiquent entre eux par deux types de sons, sifflements et *buzz*. Les sifflements sont principalement émis à des fréquences comprises entre 6,8 et 16,9 kHz (Richardson *et al.*, 1995), donc audibles par l'homme. Se propageant à des distances supérieures au champ visuel du dauphin, les sifflements seraient utiles à la cohésion du groupe (Caldwell *et al.*, 1990). Dotés d'une signature individuelle, ils interviendraient aussi dans les relations sociales (Watwood *et al.*, 2005). Les *buzz* ou *burst pulse*, sont des signaux sonar impulsions émis à des fréquences hautes (> 65 kHz), sons trop aigus pour être audibles par l'homme (Oswald *et al.*, 2003). Ils sont très rapprochés dans le temps (< 10 ms), se propagent sur des faibles distances et traduiraient un signal émotif, qu'il soit positif ou agressif (Caldwell & Caldwell, 1967 ; Lammers *et al.*, 2003 ; Lammers, 2004).

On ne connaît pas précisément le rôle spécifique de chacun de ces deux sons dans la communication sociale.

1.1.6.2. Relations interspécifiques autres que proies/prédateurs

De nombreux cas d'associations avec le Dauphin tacheté pantropical (*Stenella attenuata*) ont été décrits à différents endroits du globe (Reilly, 1990). Des interactions agressives ont déjà été mises en évidence, surtout en cas d'importante inégalité numérique entre les deux espèces (Norris *et al.*, 1994 ; Silva Jr *et al.*, 2005). Parmi les cétacés, le Dauphin long bec a aussi été observé avec le Dauphin tacheté de l'Atlantique (*Stenella frontalis*), le Grand dauphin (*Tursiops truncatus*), le Dauphin de Fraser (*Lagenodelphis hosei*) ou encore la Baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*) (Silva Jr *et al.*, 2005). Ils sont également fréquemment observés en compagnie de Rémora des baleines (*Remora australis*), poissons pilotes qui se fixent sur les cétacés, ou intégrés à des bancs de gros poissons tels que le Thon jaune (*Thunnus albacares*) (Silva Jr *et al.*, 2005). Ils ne se laissent pas facilement approcher par l'Homme sous l'eau, mais sont très curieux des bateaux et surfent fréquemment à l'étrave.

1.1.7. Menaces

1.1.7.1. Prédateurs naturels

Du fait de sa petite taille, le Dauphin long bec est la proie de diverses espèces de requins. Certaines observations sous-marines montrent des Dauphins long bec poursuivre et se défendre contre des requins, spécialement pour protéger un juvénile (Silva Jr *et al.*, 2005). Cette capacité de défense aboutit à des attaques parfois infructueuses pour les requins, suggérées par la présence de cicatrices de morsures de requins sur certains individus vivants. L'orque (*Orcinus orca*), le pseudorque (*Pseudorca crassidens*), l'orque pygmée (*Feresa attenuata*) et le globicéphale tropical (*Globicephala macrorhynchus*) seraient également des prédateurs naturels du Dauphin long bec (Norris *et al.*, 1994 ; Perrin & Gilpatrick, 1994 ; Perrin, 1998).

1.1.7.2. Menaces anthropiques

• Trafic et travaux maritimes, aménagement du littoral : nuisance sonore et pollution
Les activités anthropiques (trafic maritime, travaux maritimes et littoraux, prospections sismiques) peuvent propager des ondes acoustiques sur de grandes distances dans l'eau de mer, générant chez les cétacés, en particulier côtiers, des nuisances acoustiques aussi bien à l'échelle individuelle (difficulté à communiquer, chasser, se reproduire, perte auditive) qu'à l'échelle de la population (augmentation de la mortalité infantile, abandon du site) (Nowacek *et al.*, 2007). Des seuils de dommages physiologiques (temporaires et permanents) sont définis pour les cétacés dits de "moyenne fréquence" dont fait partie le Dauphin long bec (Parvin *et al.*, 2007).

Quelques cas d'échouages massifs de Dauphins long bec ont été rapportés, sans que la cause n'ait pu être déterminée (Mead *et al.*, 1980). Chez les Odontocètes, on pense que la perturbation acoustique par des sonars de haute intensité pourrait être une cause fréquente de ce type d'échouage, par désorientation ou réponse d'échappement (Talpalar & Grossman, 2005).

Ces activités peuvent aussi être à l'origine de pollution chimique et bactériologique de l'eau de mer par les processus de :

- dégazages de certains navires, marées noires, sites de stockage d'hydrocarbures ;
- urbanisation du littoral (eaux domestiques) ;
- lessivage de produits phytosanitaires agricoles (pesticides, herbicides) ;
- concentration des déchets par les courants océaniques (micro et macro-déchets).

Les risques liés à cette pollution sont multiples et particulièrement importants pour les espèces côtières dont fait partie le Dauphin long bec. Ils concernent le dauphin directement (dégradation du système immunitaire, capacité de reproduction) (Wells *et al.*, 2005 ; Brock *et al.*, 2012), mais aussi son habitat et ses proies (De Swart *et al.*, 1994 ; Brock *et al.*, 2012).

- Pêche et prises accidentelles

Dans la région du Pacifique Est, les populations sont lourdement affectées par les pêches thonières, qui aboutissent à des captures massives de dauphins, encerclés par les filets pour maximiser la prise de poissons. Entre 1960 et 2005, on estime que plus de la moitié des Dauphins long bec du Pacifique Est (formes hybride et Orientale) a été décimée (Wade *et al.*, 2007 ; Braulik & Reeves, 2018). Depuis 2006, le renforcement de la réglementation autour de cette pratique a abouti à un taux de mortalité moins important, mais non négligeable puisqu'en 2012 la forme Pacifique Est a été classée vulnérable sur la liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature (Reilly *et al.*, 2005 ; Wade *et al.*, 2007 ; Braulik & Reeves, 2018).

Des cas de captures accidentelles ou enchevêtrements dans le matériel de pêches sont rapportés dans diverses régions du monde (Perrin *et al.*, 1994 ; Mohan, 1994 ; LeatherWood & Reeves, 1989 ; Donahue & Edwards, 1996 ; Archer *et al.*, 2002 ; Razafindrakoto *et al.*, 2004, 2008 ; Kiszka *et al.*, 2009).

La chasse ciblée sur le Dauphin long bec pour sa consommation ou son utilisation comme appâts serait encore pratiquée dans certaines régions, sans que l'on puisse en évaluer l'étendue (LeatherWood et Reeves, 1989 ; Dolar, 1994 ; Kahn, 2004).

Des cas de prises accidentelles dans des filets anti-requins ont été rapportés (Cockcroft, 1990).

- *Whale-watching*

Les activités de *whale-watching*, c'est-à-dire d'observation des cétacés dans leur milieu naturel depuis une base nautique, terrestre ou aérienne, ou par mise à l'eau, sont en expansion à l'échelle mondiale (Hoyt, 1995, 2001).

Plusieurs effets néfastes liés à cette activité ont été mis en évidence à différents endroits du globe, en particulier sur les espèces côtières : nuisance acoustique, collision, séparation forcée du groupe, perturbation des phases de repos, de reproduction, de déplacement ou encore de nourrissage (Orams *et al.*, 1997 ;

Constantine, 2002 ; Lammers, 2004 ; Bedger *et al.*, 2006). Les changements comportementaux des individus en réponse à la présence de navires de *whale-watching* aboutissent à des dépenses énergétiques accrues au niveau individuel, potentiellement néfastes à plus long terme et à l'échelle de la population (Heenehan *et al.*, 2017 ; Tyne *et al.*, 2018 ; Shawky *et al.*, 2020 ; Stack *et al.*, 2020).

Dans les régions qu'il occupe, le Dauphin long bec est une cible fréquente des bateaux de *whale-watching* du fait de son habitat matinal prévisible et de son comportement de sauts vrillés apprécié.

1.1.8. Statut de protection

1.1.8.1. Niveau international

A l'échelle internationale, la Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (CMS), ou Convention de Bonn, considère l'état de conservation du genre *Stenella* comme défavorable (Annexe II) et encourage la coopération internationale pour la mise en place de mesures de protection.

Aussi, la Convention sur le commerce International des espèces de faune et flore menacées d'extinction (CITES), ou convention de Washington, place le genre *Stenella* en Annexe II, au même titre que tous les cétacés n'appartenant pas à l'Annexe I. L'annexe II regroupe les individus qui pourraient être menacés d'extinction sans réglementation sur son commerce, et impose des permis d'exportation ou de réexportation. La France a ratifié ces conventions respectivement en 1990 et 1978.

Longtemps classé DD (*Data Deficient*) sur la liste rouge des espèces menacées, l'UICN considère depuis 2018 cette espèce comme à faible risque d'extinction au niveau mondial (Braulik & Reeves, 2018).

1.1.8.2. Niveau national

Depuis 1995, se réunit chaque année le Comité Interministériel de la Mer (CIMer), présidé par le Premier ministre français. Il fixe les orientations nationales de l'année à venir dans tous les domaines liés à la mer : trafic et sécurité maritime, énergies, ports, nautisme, recherche, conservation... C'est en 2018, que la première mesure propre à la conservation des cétacés est instaurée dans le rapport. En 2019, la place accordée aux cétacés augmente, s'articulant autour de 4 axes : le renforcement des

connaissances et de l'action internationale, la sensibilisation du grand public et la diminution de la pression anthropique. Cependant, en 2021, une seule mesure évoque directement la préservation des cétacés, et ne concerne que la Méditerranée. De même, en 2022, seule est évoquée la volonté de réduire les captures accidentelles de cétacés. Ainsi, les cétacés ne sont pas systématiquement concernés par ces rapports, ni les différentes pressions anthropiques auxquels ils sont soumis (Gouvernement, 2022).

L'arrêté ministériel du 1er juillet 2011 fixe la liste des mammifères marins protégés sur le territoire national et les modalités de leur protection. Ces mesures concernent l'espèce *S. longirostris*, et peuvent être résumées et catégorisées comme suit (Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, 2011) :

- mesures concernant l'animal : interdiction de mutilation, capture intentionnelle incluant les prélèvements biologiques, poursuite, harcèlement, détention, transport, vente, achat ;
- mesures concernant son habitat : interdiction de dégradation des sites de reproduction et aires de repos.

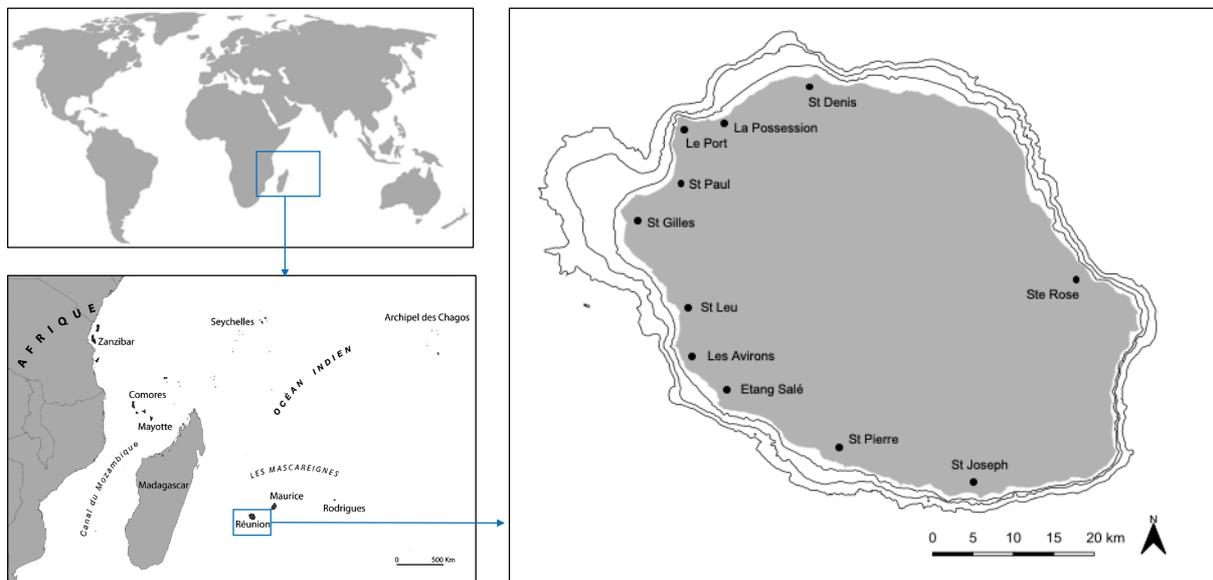
Depuis 2021, cet arrêté interdit également l'approche intentionnelle de tout cétacé à moins de 100 mètres dans les aires marines protégées (Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, 2020).

1.2. Présentation de l'île de La Réunion et de sa population de Dauphins long bec

1.2.1. L'île de La Réunion

1.2.1.1. Localisation, superficie

L'île de La Réunion (21°07'S, 55°33'E) est un territoire français d'outre-mer situé dans l'Océan Indien, 700 km à l'est de Madagascar. Avec les îles Maurice et Rodrigues, respectivement à 170 et 836 km au Nord-Est de La Réunion, elle forme l'archipel des Mascareignes (carte 2). Sa superficie totale est de 2 504 km².



Carte 2 : Localisation de l'île de La Réunion à différentes échelles
Les isobathes 40, 200 et 500 sont indiquées en noir.

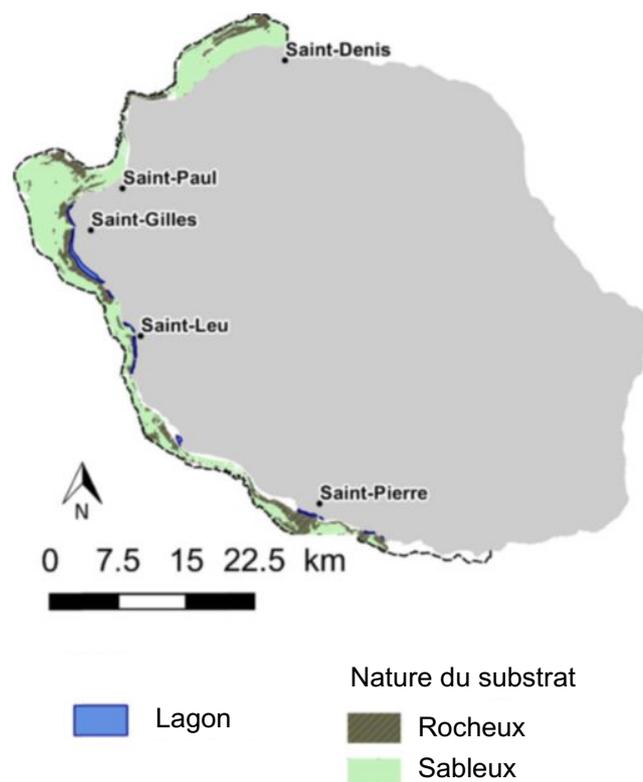
1.2.1.2. Climat, physiographie

L'île de La Réunion jouit d'un climat tropical humide. Deux saisons y sont définies par le régime de précipitation : une saison sèche pendant l'hiver austral, de mai à octobre, et une saison des pluies pendant l'été austral, de novembre à avril. La saison sèche est caractérisée par un régime régulier d'alizés orientés Sud-Est ou Est. L'amplitude thermique entre les deux saisons est relativement faible (4°C en moyenne), avec une saison sèche plus fraîche que la saison des pluies, pour des maxima supérieurs à 30°C. En termes de précipitation et d'exposition au vent, l'île connaît une grande dissymétrie Est/Ouest, avec une côte est, dite "au vent", fréquemment exposée au vent et à la pluie, alors que la côte Ouest, dite "sous le vent", est davantage abritée

(Soler, 1997). Avec un sommet culminant à 3071 m (Piton des Neiges), le gradient de température est essentiellement altitudinal, les températures diminuant d'environ 0,65 °C tous les 100 m (Robert & Soulères, 1991).

1.2.1.3. Océanographie

La Réunion possède un linéaire côtier de 212 km. Ayant émergé il y a moins de trois millions d'années, cette île volcanique toujours active présente un plateau insulaire étroit de largeur variable autour de l'île, et une profondeur d'eau chutant rapidement à plus de 4 000 m autour de la crête des Mascareignes. L'isobathe des 1000 m se rapproche à moins de 3 km des côtes par endroit. Une barrière récifale discontinue s'étend sur une longueur totale de 25 km, définissant des lagons le long des côtes Ouest et Sud-Ouest de l'île (Montaggioni & Faure, 1980). Les substrats sous-marins varient spatialement autour de l'île entre fonds rocheux (blocs basaltiques ou récifs coralliens), et sableux (détritiques ou basaltiques) (carte 3).



Carte 3 : Nature des substrats autour de la côte Ouest de La Réunion
(Source : Condet et Dulau-Drouot, 2016)

Le marnage est de très faible amplitude (Tessier, 2005) et le courant de surface majoritaire d'est (Conand *et al.*, 2007). Trois grands types de houles sont générés par l'action des vents : les houles d'alizés, australes, et cycloniques (Cordier, 2007). Les températures marines à la surface de l'eau varient entre 24 et 28 °C (Conand *et al.*, 2007). Les eaux sont dites oligotrophes, c'est-à-dire caractérisées par une faible productivité primaire (faible concentration en phytoplancton), et une abondance des prédateurs supérieurs (Bakun *et al.*, 1998)

1.2.2. État de l'art sur la population réunionnaise de *S. longirostris*

1.2.2.1. Découverte

La présence de *S. longirostris* (forme de Gray) à La Réunion est relevée pour la première fois en 1997, à partir de photographies capturées en 1988. Elle constitue à l'époque la onzième espèce de cétacés recensée à la Réunion (Basque *et al.*, 1997). Présent à l'année dans les eaux réunionnaises, le Dauphin long bec fait partie des espèces de cétacés les plus fréquemment rencontrées autour de l'île. L'association Globice collecte depuis 2012 des photographies des individus de cette population en vue d'en estimer l'abondance.

1.2.2.2. Diagnose

Dans les eaux réunionnaises, le principal enjeu est de le différencier d'une autre espèce du même genre : le Dauphin tacheté pantropical (*Stenella attenuata*). Leur morphologie est proche (petite taille, corps fuselé, rostre long) et tous deux composent des groupes de taille importante (plusieurs dizaines voire centaines d'individus). La physionomie comparative de ces deux espèces est regroupée dans l'annexe 1 (Perrin, 1998 ; Shirihai & Jarret, 2020 ; Globice, 2020). Le Dauphin long bec est en revanche facilement distinguable des deux autres espèces de dauphins résidents permanents à la Réunion, le Grand dauphin de l'Indo-Pacifique (*Tursiops aduncus*) et le Grand dauphin commun (*Tursiops truncatus*), qui sont de plus grande taille et forment des groupes plus restreints.

À la Réunion, seul le Dauphin long bec, est capable d'effectuer des sauts vrillés, ce qui facilite son identification en mer lorsqu'un tel comportement est observé.

1.2.2.3. *Habitat*

L'habitat de cette population, principalement étudié à partir de prospections effectuées le matin, est restreint à une petite zone au large du plateau insulaire de St Gilles, de 18,2 km². Cette zone, dite "sec" de St Gilles, est une zone de haut-fond, de faible pente sous-marine, et où le substrat est majoritairement sableux et de couleur claire (Condet & Dulau-Drouot, 2016). Son habitat post-méridien et nocturne est encore méconnu. Des analyses d'isotopes stables suggèrent néanmoins une aire de nourrissage assez éloignée des côtes (Dirtu *et al.*, 2016). Le rythme journalier de cette population pourrait donc être similaire à celui observé dans le Pacifique.

1.2.2.4. *Statut de conservation*

En 2013, l'évaluation par l'UICN ne permet pas d'estimer le niveau de menace relatif à cette espèce à l'échelle de La Réunion en raison du manque de données scientifiques, ainsi classée DD (*Data Deficient*).

La partie expérimentale qui suit s'intéresse à la population de Dauphins long bec réunionnaise entre 2013 et 2021, et vise à (1) en estimer l'abondance ; (2) décrire sa distribution spatiale et les caractéristiques topographiques de son habitat.

PARTIE 2 : ABONDANCE, DISTRIBUTION SPATIALE ET CARACTERISTIQUES TOPOGRAPHIQUES DE L'HABITAT DE LA POPULATION DE DAUPHINS LONG BEC REUNIONNAISE SUR LA PERIODE 2013-2021

2.1. Matériel et méthodes

2.1.1. Collecte des données

2.1.1.1. Zone et période d'étude

Les données ont été collectées entre janvier 2013 et décembre 2021 inclus. En raison des mauvaises conditions météorologiques fréquentes à l'Est et des locations de bateaux situées principalement à l'Ouest, l'effort de prospection a été plus important sur la côte Ouest. Pour respecter les hypothèses inhérentes au modèle d'estimation d'abondance utilisé, la zone d'étude sera restreinte à la côte Ouest pour l'estimation d'abondance (carte 4), alors que la totalité des eaux réunionnaises prospectée sera considérée pour l'étude d'habitat.



Carte 4 : Zone d'étude sélectionnée pour l'estimation d'abondance

Échelle : 1:500000

(Source : Globice)

2.1.1.2. Conditions météorologiques de sortie

Pour optimiser la détectabilité des dauphins, permettre l'utilisation des appareils photographiques et la sécurité de la navigation, les sorties en mer se font par bonnes conditions météorologiques (Beaufort ≤ 3).

2.1.1.3. Méthodes de prospection

• Navires et vitesse de prospection

Deux types de navires sont utilisés :

- des bateaux de location : semi-rigides ou rigides de type plaisancier (mesurant jusqu'à une dizaine de mètres), sans passerelle en hauteur, de différents modèles ;
- des bateaux appartenant à des compagnies de *whale-watching* : rigides, de plus de quinze mètres de long et permettant aux observateurs une hauteur d'observation d'au moins 3 mètres.

Entre un et cinq observateurs formés par Globice sont présents à bord, en plus du capitaine. Pour optimiser la détectabilité des cétacés, la vitesse de prospection maximale est de dix nœuds pour les bateaux de location et de douze nœuds pour les bateaux de *whale-watching*. L'objectif est d'obtenir une vitesse moyenne de prospection de 7 nœuds (Stockin *et al.* 2008 ; Dwyer 2014). Tous les observateurs appliquent la méthode dite de "scan", présentée ci-dessous.

• Méthode de "scan"

Chaque observateur présent à bord scrute continuellement la mer depuis le bateau jusqu'à l'horizon, sur 180° autour du bateau. Quand plusieurs observateurs sont présents, ils se partagent les aires de "scan", en commençant l'observation dans des directions opposées afin d'assurer, pour n'importe quel point, un intervalle de temps à peu près égal entre deux scans successifs (Mann, 1999). Quand les dauphins ne sont pas visualisés directement (nageoires dorsales lors du temps de respiration en surface, corps entier lors de sauts), le regard des observateurs s'attarde sur d'autres indicateurs potentiels de leur présence : éclaboussures, oiseaux en chasse, bateaux à l'arrêt. Parfois, les Dauphins long bec sont repérés grâce à des signalements à la radiotéléphonie VHF par les opérateurs des compagnies de *whale-watching*.

- Itinéraire : transect ou observation opportuniste

Deux types de sorties sont réalisés selon les objectifs de la sortie (collection de données pour d'autres projets de Globice) : soit le capitaine suit des trajectoires prédéfinies par les objectifs annexes de la sortie (transect), soit l'itinéraire de recherche est aléatoire.

2.1.1.4. Collecte des données d'effort

Un GPS de la marque Garmin® est embarqué à bord à chaque sortie. Tout l'itinéraire parcouru est automatiquement enregistré. De plus, des informations sur les conditions de visibilité ainsi que sur l'activité du bateau et des observateurs à bord (en recherche ou non, bateau à l'arrêt...) sont relevées toutes les quinze minutes et à chaque changement d'un des paramètres. A chaque d'observation de cétacés, des informations sur l'espèce observée (effectif estimé, activité, formation...) sont également relevées. Pour chaque sortie, les points GPS relevés toutes les 15 minutes ainsi que l'itinéraire complet sont enregistrés.

2.1.1.5. Prise de photographies

- Principe de la photo-identification

La photo-identification consiste en l'utilisation de marques corporelles permanentes comme éléments de diagnose individuelle chez les animaux (Hammond *et al.*, 1990). Elle permet d'obtenir des informations comme l'abondance, les taux de migration, le taux de survie à l'échelle d'une population (Hammond *et al.*, 1990).

Chez les dauphins, les marqueurs naturels situés sur la nageoire dorsale sont le plus fréquemment utilisés (Würsig & Würsig, 1977, Hammond *et al.*, 1990, Bichell *et al.*, 2017). Ils sont de deux types (illustration 3) :

- les marqueurs dits "primaires" : des encoches, perte de matière d'origine traumatique (morsures de congénères ou petits requins), souvent sur le bord de fuite (bord postérieur) de la nageoire. Ces encoches ne peuvent se combler, ce qui en fait des marqueurs à long terme et, sauf cas particulier (traumatisme important), de nouvelles encoches n'apparaissent que par petit nombre et peu fréquemment dans le temps, ce qui permet de suivre l'évolution d'un même individu ;

- les marqueurs dits "secondaires" : des scarifications, roses puis blanches, qui peuvent retrouver leur couleur grise en cicatrisant. Ce sont des marqueurs à court terme, peu courants chez les Dauphins long bec.

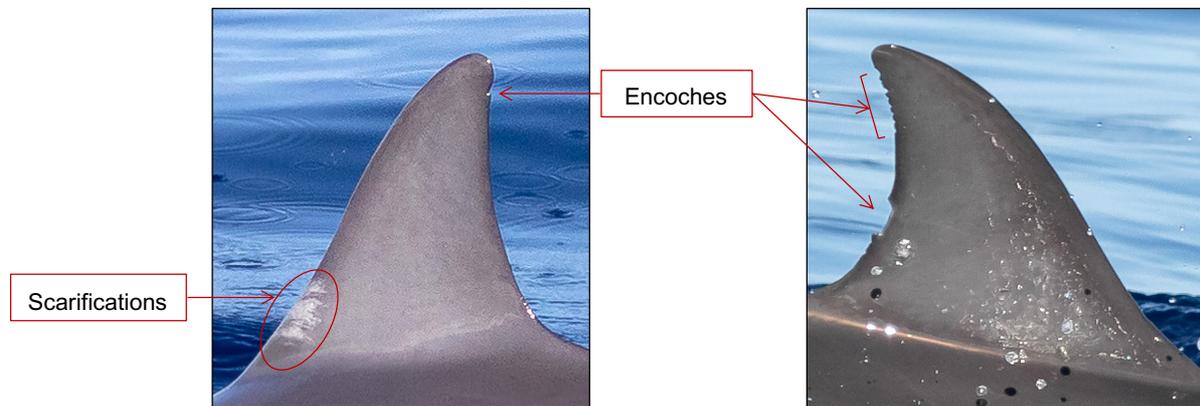


Illustration 3 : Exemples de nageoires dorsales illustrant les deux types de marqueurs utilisés dans la photo-identification
(Photographies : Globice)

- Application sur le terrain

Le bateau s'approche parallèlement au groupe de dauphins, en allant dans la même direction générale que celui-ci. Des photographies sont prises en essayant d'échantillonner le maximum d'individus, le but étant d'obtenir des clichés de nageoires dorsales d'un échantillon aléatoire du groupe. Les appareils utilisés sont différents modèles de réflexes *Canon Electro-Optical System* (EOS) équipés de téléobjectifs de distance focale maximale supérieure à 200 mm.

2.1.2. Sélection et traitement des données

2.1.2.1. Sélection des données d'effort de prospection

Pour chaque sortie, les données récoltées lorsque la vitesse est trop importante ou que la visibilité n'est pas bonne ou excellente (nuit tombée, houle trop importante) sont exclues de l'effort. Pour rappel, la vitesse de prospection maximale est de dix nœuds pour les bateaux de location et douze nœuds pour les bateaux de *whale-watching*.

2.1.2.2. Sélection des données d'observation

Est considérée comme observation la première coordonnée à laquelle la distance du bateau aux dauphins est suffisamment faible pour commencer la prise de photographies et la collecte de données concernant le groupe.

2.1.2.3. Sélection et traitement des photographies après chaque sortie

Après chaque sortie, les photographies sont classées par observation, et traitées de la manière suivante :

(1) Recadrage : la dorsale est rognée de manière à occuper la totalité de l'image. Si une photographie contient plusieurs dorsales, elle est dupliquée et chaque dorsale est conservée.

(2) Exclusion des images inutilisables : les photographies trop floues, prises avec un mauvais angle, avec de nombreux reflets ou éclaboussures, sont placées dans un dossier "Non exploitables".

(3) Regroupement par individu : Les marqueurs primaires sont analysés, et les nageoires appartenant au même individu sont regroupées dans un même dossier. En cas de doute, les marqueurs secondaires sont étudiés pour aider au tri. Les dorsales ne possédant pas de marqueurs primaires sont regroupées dans un dossier "Lisses".

(4) Comparaison au catalogue : Chaque photographie est comparée au catalogue préexistant qui regroupe tous les individus déjà identifiés par leurs marqueurs, avec un nom et des photos de leur dorsale. Les photographies retrouvées dans le catalogue sont considérées comme des recaptures et les autres sont ajoutées au catalogue. Chaque dossier est renommé avec le nom de l'individu. Pour diminuer la probabilité d'erreur dans ce processus, une deuxième personne contrôle toutes les captures et recaptures.

(5) Bancarisation : Les individus identifiés à chaque observation sont ajoutés à la base de données de Globice.

2.1.2.4. Traitement des photographies du catalogue

Un degré de marquage est attribué à chaque individu du catalogue, selon la profondeur et l'extension de ses marqueurs primaires. Quatre niveaux, D1 à D4, sont définis selon les critères suivants (illustration 4) :

(D1) : Présence d'une ou plusieurs encoches de très petite surface et localisée(s) : nageoire paraissant lisse à première vue.

(D2) : Présence de plusieurs encoches de petite surface occupant au total moins de la moitié du bord de fuite de la dorsale ou d'une ou plusieurs encoches de surface moyenne sur moins d'un quart du bord de fuite de la dorsale.

(D3) : Présence de plusieurs encoches de petite surface sur plus de la moitié du bord de fuite de la dorsale ou d'une ou plusieurs encoches de surface moyenne occupant entre un quart et la moitié du bord de fuite de la dorsale ou présence d'une encoche de grande taille.

(D4) : Présence de plusieurs encoches de taille moyenne occupant plus de la moitié du bord de fuite de la dorsale, ou de plusieurs encoches de grande taille ou d'une ou plusieurs encoches de très grande taille.

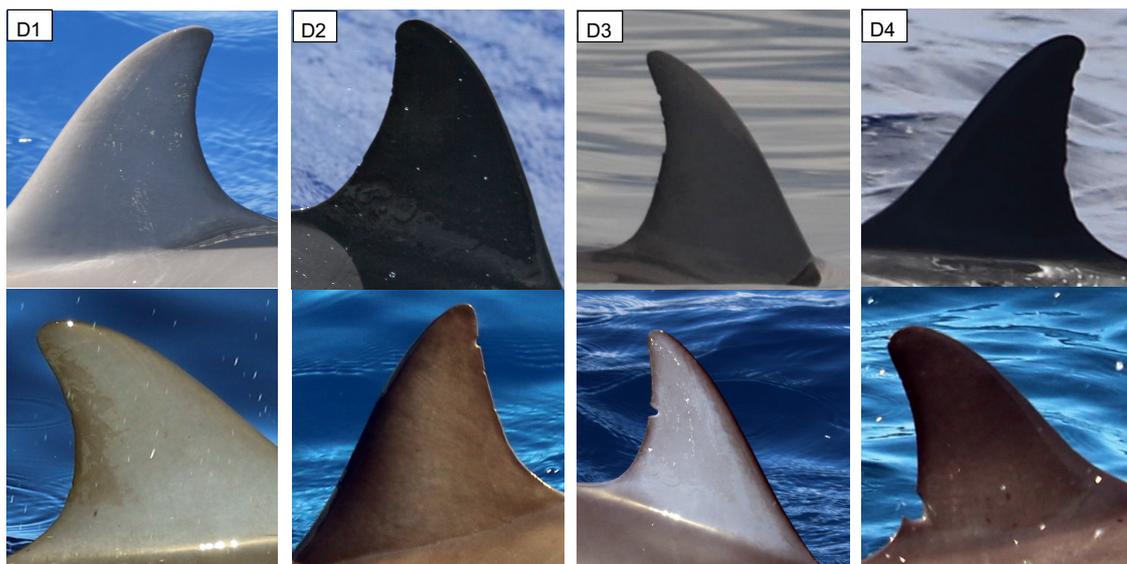


Illustration 4 : Dorsales de Dauphins long bec de différents niveaux de marquage
(Photographies : Globice)

La meilleure photographie de chaque individu du catalogue se voit également attribuée une note selon la qualité d'image. Les paramètres de netteté, angle, exposition, contraste et présence d'éclaboussures sont appréciés et quatre niveaux de qualité (de faible à excellent) sont utilisés (Slooten *et al.*, 1992). Seules les photos de qualité bonne ou excellente sont conservées.

2.1.2.5. Données topographiques

Pour chaque position d'observation, on s'intéresse, lorsque ces données sont disponibles, à la bathymétrie, la distance à la côte, la pente et la nature du substrat sous-marin. Les données de bathymétrie sont fournies par le Service Hydrographique Océanographique de la Marine (S.H.O.M.), la distance à la côte et la pente du substrat par le logiciel Mapinfo, et la nature du substrat par les cartes du Bureau de Recherche Géologique et Minière (B.R.G.M.).

2.1.3. Analyse des données

2.1.3.1. Courbe de découverte

Le nombre cumulé d'individus identifiés en fonction du temps est calculé et mis en regard de l'effort de prospection (en km) pour produire une "courbe de découverte". Le graphique obtenu est un indicateur du progrès de découverte : à niveau d'effort comparable, l'atteinte d'une asymptote dans le nombre d'individus identifiés en fonction du temps indique que la quasi-totalité de la population a été identifiée.

2.1.3.2. Estimation de l'abondance d'individus marqués

- Principe

La technique de capture/marquage/recapture (CMR) est largement utilisée en conservation des populations, notamment pour des estimations d'abondance. La prise de photographies peut en effet être considérée comme un moyen de capture, qui présente l'avantage d'être non invasif. Il existe trois grands types de modèles (Otis *et al.*, 1978 ; Pollock *et al.*, 1990 ; Seber, 1982, 1992) : ceux applicables aux populations ouvertes sur la période d'étude (migrations, naissances, décès), aux populations fermées, et un modèle mixte. La sélection d'un modèle de capture-recapture nécessite donc de connaître le caractère ouvert ou fermé de la population. Dans le cadre d'une estimation d'abondance, les modèles pour populations fermées sont plus fiables, et si la population s'avère être ouverte, on cherchera donc à trouver une période d'échantillonnage secondaire sur laquelle elle peut être considérée fermée (Pollock *et al.*, 1990).

- Test du caractère ouvert ou fermé de la population

Le logiciel *CloseTest* (Stanley & Burnham, 1999) réalise un test du chi2 avec l'hypothèse nulle du caractère fermé de la population sur une période donnée.

En considérant d'abord l'année comme période d'échantillonnage, on obtient $\chi^2 = 128,7$, ddl = 14, $p < 1.10^{-5}$. On a $p < 0,01$ donc la population est ouverte entre deux années, c'est-à-dire que le départ (émigration ou décès) ou l'arrivée (immigration ou naissance) d'individus n'est pas négligeable.

Néanmoins, en testant sur la période juin-octobre de chaque année, toutes les p-values sont supérieures à 0,01 (tableau 1). Ainsi, sur cette période d'échantillonnage secondaire, où l'effort de prospection est plus important (saison des baleines à bosse) et relativement homogène, donc les observations de Dauphins long bec plus fréquentes, la population peut être considérée fermée (figure 1).

Du fait du caractère fermé de la population au sein des mois de juin à octobre de chaque année, et du caractère ouvert d'une année sur l'autre, le *Robust Design* est applicable (Pollock *et al.*, 1990).

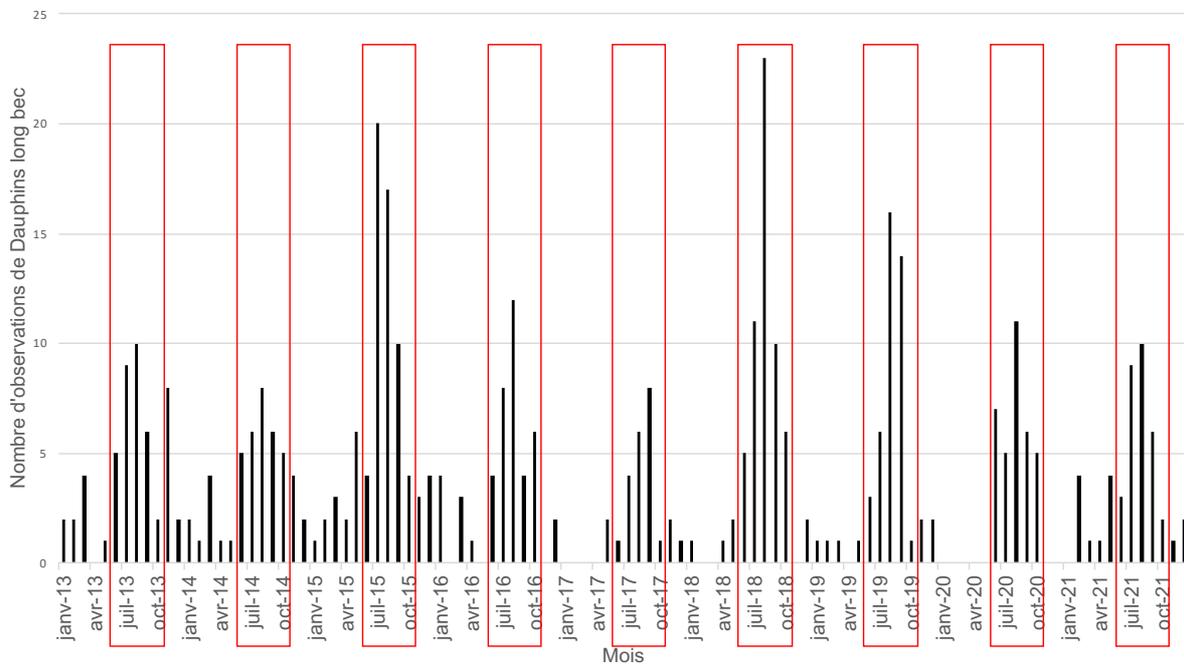


Figure 1 : Répartition des observations de Dauphins long bec sur la période d'étude
Les périodes juin-octobre sont encadrées en rouge.

Période d'échantillonnage	Résultats du <i>CloseTest</i>		
	χ^2	ddl	p
Juin-octobre 2013	8,7	4	0,07
Juin-octobre 2014	4,9	4	0,29
Juin-octobre 2015	6,6	5	0,25
Juin-octobre 2016	2,8	5	0,73
Juin-octobre 2017	2,5	2	0,29
Juin-octobre 2018	0,95	4	0,92
Juin-octobre 2019	2,3	2	0,31
Juin-octobre 2020	4,1	4	0,39
Juin-octobre 2021	10,1	5	0,02

Tableau 1. : Résultats du *CloseTest* sur les périodes juin-octobre de 2013 à 2021

• Le *Robust Design* : application, paramètres

Le *Robust Design* repose sur la définition de deux échelles de temps (Pollock, 1982) : périodes primaires d'échantillonnage (ici les années), et périodes secondaires d'échantillonnage séparées les unes des autres par de courtes durées (ici les périodes juin-octobre). La population est considérée fermée à l'intérieur des périodes primaires, mais ouverte entre deux périodes primaires (Pollock *et al.*, 1990 ; Pollock, 1982) (figure 2).

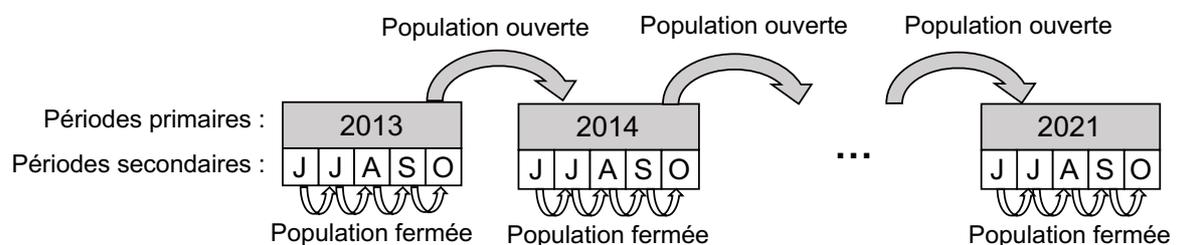


Figure 2 : Représentation schématique des deux niveaux d'échantillonnage du *Robust Design* appliqués à notre période d'étude.

J-J-A-S-O : Juin-Juillet-Août-Septembre-Octobre

Les paramètres suivants sont estimés par le *Robust Design* :

- la probabilité de survie apparente annuelle (S) ;
- les probabilités de capture (p) et recapture (c) ;
- l'abondance des individus marqués (N_d) ;
- des variables d'émigration temporaire, c'est-à-dire la probabilité qu'un individu soit en dehors de la zone d'étude (donc non capturable) durant une occasion

d'échantillonnage, sachant qu'il était présent (γ'') ou absent (γ') de la zone d'étude à l'occasion précédente.

Sur le logiciel Mark, sont testés 108 modèles du *Robust Design* (annexe 2), soit toutes les combinaisons possibles en considérant :

- S, p, c soit constants (.), soit variables entre les occasions primaires (T), soit variables entre les occasions primaires et secondaires (T,t) ;
- γ'' et γ' soit constants (.) soit variables entre les occasions secondaires (T,t).

• Test des hypothèses préalables au *Robust Design*

Les hypothèses du *Robust Design*, combinaison de celles des modèles fermés et ouverts, sont les suivantes (Kendall *et al.*, 1995) :

- (1) l'aire d'étude est similaire entre les sessions d'échantillonnage ;
- (2) l'échantillonnage est instantané ;
- (3) tous les individus de la population utilisent l'aire d'étude pendant la période d'étude, mais pas nécessairement pendant chaque session d'échantillonnage primaire ;
- (4) les marqueurs ne sont pas perdus et sont distinguables correctement au moment de la recapture ;
- (5) le taux de survie est semblable entre tous les individus ;
- (6) la probabilité de capture est homogène entre les individus ;
- (7) la capture n'a pas d'effet sur le comportement des individus, qui influencerait leur probabilité de recapture.

L'hypothèse (1) impliquant que l'aire d'étude soit couverte lors de chaque session d'échantillonnage, nous restreignons l'aire d'étude à la zone Ouest de l'île, qui a été systématiquement prospectée sur la période 2013-2021, contrairement à la côte est qui ne l'a été qu'occasionnellement. La définition de périodes secondaires courtes par rapport à la durée totale de l'étude permet de considérer l'hypothèse (2) satisfaite. L'hypothèse (3) est validée par le fait que tous les individus marqués observés en dehors de la zone d'étude ont été capturés au moins une fois dans la zone d'étude. L'inclusion dans l'analyse limitée aux photographies de qualité "bonne" à "excellente", et aux individus avec des niveaux de marquage important (D3 et D4), ainsi que le caractère permanent des encoches, permet de valider l'hypothèse (4). Un Test3 dans *U-care* permet de tester l'hypothèse (5) de probabilités de survie égales entre individus (Choquet *et al.*, 2020). On obtient $\chi^2 = 20,96$, ddl = 30 et $p = 0,9 > 0,5$ donc les

probabilités de survie sont homogènes entre les individus. L'hypothèse (6) de probabilité de capture homogène entre individus est testée par le Test2 dans *U-care* (Choquet *et al.*, 2020). On obtient $\chi^2 = 75,6107$, ddl = 75, $p = 0,56 > 0,5$ donc les probabilités de capture sont homogènes entre individus. Concernant l'hypothèse (7), un test de dépendance à la capture (Test2CT) dans le logiciel *U-care* a été réalisé (Choquet *et al.*, 2009). Il teste l'hypothèse nulle d'absence d'attraction ou fuite du bateau par les groupes observés (Choquet *et al.*, 2020). Il nous donne la valeur de z, négative en cas d'effet attractif par le bateau (*trap-happiness*) et positive en cas d'effet de fuite (*trap-shyness*). On obtient : $z = -3,0849 < 0$, et $p = 0,002 < 0,05$ donc il y a un effet attractif de la capture (par l'intermédiaire du bateau). On appliquera tout de même le *Robust Design* et ce biais sera discuté en partie 3. Les arguments en faveur ou défaveur de chaque hypothèse sont résumés dans le tableau suivant (tableau 2).

Hypothèses	Arguments
(1) Aire d'étude homogène	(+) Restriction de la zone d'étude à la côte Ouest
(2) Échantillonnage instantané	(+) Définition de périodes secondaires courtes
(3) Aire d'étude utilisée par tous les individus	(+) Tout individu marqué observé en dehors de la zone d'étude également retrouvé dans la zone d'étude
(4) Persistance et distinction aisée des marqueurs	(+) Exclusion des individus peu ou pas marqués et des photographies de mauvaise qualité
(5) Taux de survie homogène entre individus	(+) Test3 dans <i>U-care</i>
(6) Probabilité de capture homogène entre individus	(+) Test2 dans <i>U-care</i>
(7) Absence d'influence de la capture sur la recapture	(-) Test2CT dans <i>U-care</i> (+) Caractère non invasif de la méthode de capture (+) Test2 dans <i>U-care</i>

Tableau 2 : Récapitulatif des arguments en faveur (+) ou défaveur (-) des différentes hypothèses du *Robust Design*

- Sélection du modèle le plus pertinent

Pour évaluer la fiabilité des données et la nécessité d'ajuster les valeurs estimées par les modèles du *Robust Design*, on calcule le facteur de dispersion \hat{c} comme suit :

$\hat{c} = \frac{\chi^2}{ddl}$, où χ^2 est issu du TestGlobal (Test2 et Test3) du logiciel *U-care*, et ddl est son degré de liberté (Williams *et al.*, 2002).

On obtient deux cas de figure :

(1) $\hat{c} \leq 1$: Les données sont fiables et les valeurs estimées par le modèle ne nécessitent pas d'ajustement *a posteriori*. Le modèle le plus pertinent est celui qui a le AIC (Akaike Information Criterion) (Sugiura, 1978) ou AICc (ajusté pour les faibles échantillons) le plus bas (Burnham & Anderson, 2004). Les modèles montrant un AIC ou AICc de moins de deux unités par rapport au modèle de plus faible AIC ou AICc seront aussi sélectionnés comme décrivant convenablement les données.

(2) $\hat{c} > 1$: Les données ne sont pas assez fiables et les valeurs estimées par le modèle nécessitent un ajustement ultérieur. Le modèle le plus pertinent est celui qui a le QAIC (Quasi Akaike Information Criterion) ou QAICc (ajusté pour les faibles échantillons) le plus bas. Les modèles montrant un QAIC ou QAICc de moins de deux unités par rapport au modèle de plus faible AIC ou AICc seront aussi sélectionnés comme décrivant convenablement les données.

On obtient $\hat{c} = 0,9197 < 1$ donc le modèle ne nécessite pas d'ajustement ultérieur.

- Mise en œuvre pratique

(1) Construction de l'historique des captures, représenté par une matrice binaire où pour chaque mois d'échantillonnage secondaire de la période, chaque individu marqué est reporté '0', *i.e.* absent, ou '1', *i.e.* présent au moins une fois au cours du mois ;

(2) Conversion en format exploitable par le logiciel Mark ;

(3) Import de la matrice binaire dans Mark et lancement des différents modèles ;

(4) Sélection du modèle ayant le plus petit AIC et de ceux ayant un AIC de moins de deux unités plus grand.

2.1.3.3. Proportion d'individus marqués et abondance totale de la population

Suite à l'exclusion des individus de faibles niveaux de marquage, seule est estimée par le modèle l'abondance des individus les plus marqués (niveaux de marquage D3 ou D4). Pour estimer l'abondance totale (N_{tot}) de la population, incluant individus marqués et peu ou non marqués, il est nécessaire d'estimer la proportion θ d'individus marqués D3 ou D4 au sein de la population totale.

On a ensuite : $N_{tot} = \frac{N_d}{\theta}$,

où N_d est le nombre d'individus marqués estimé par le modèle de capture/recapture, et θ l'estimation de la proportion d'individus marqués dans la population.

Du fait de la taille importante des groupes, l'effort de photo-identification ne permet pas d'identifier tous les individus marqués du groupe, ni de connaître sa taille exacte. L'estimation de la proportion d'individus marqués (θ) se fait à partir d'un échantillon de photographies brutes non recadrées, prises entre 2012 et 2021. Sont sélectionnées des photographies regroupant au minimum quatre individus, de qualité suffisante pour évaluer le degré de marquage de chacun des individus présents sur la photo. θ est la moyenne de la proportion d'individus marqués par cliché (soit le nombre total d'individus D3 et D4 divisé par le nombre total de dorsales sur le cliché) (illustration 5).

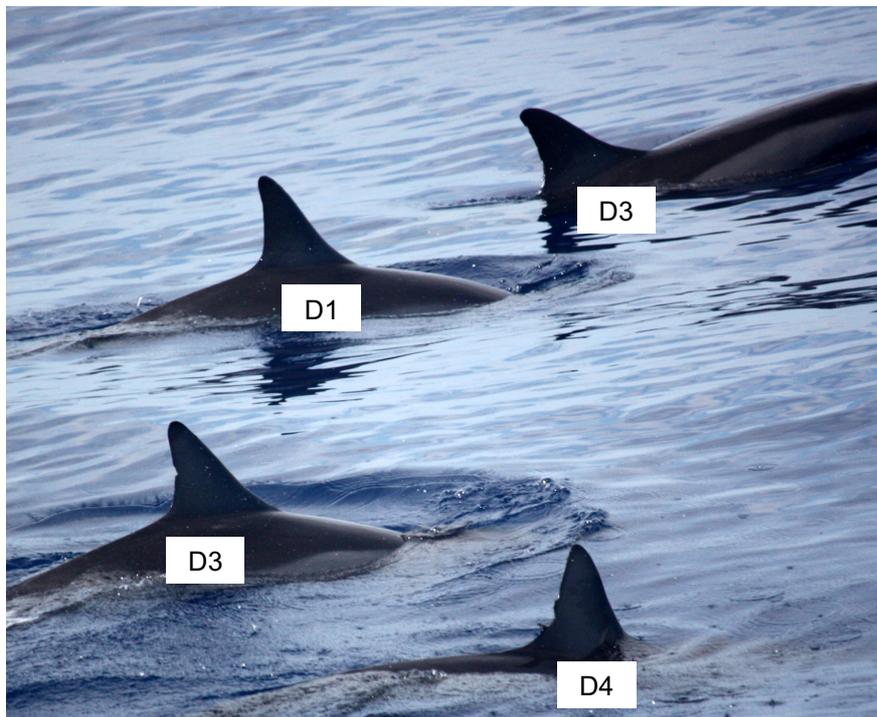


Illustration 5 : Exemple de photographie utilisée pour la détermination de θ , et niveau de marquage associé à chaque individu
(Photographie : Globice)

La variance de l'abondance totale est calculée avec la méthode delta (Wilson *et al.*, 1999) : $SE(N_{tot}) = \sqrt{N_{tot}^2 \left(\frac{1-\theta}{n\theta} + \frac{SE(Nd)^2}{N_d^2} \right)}$, où n est le nombre d'observations ayant permis le calcul de θ . L'intervalle de confiance à 95% pour l'abondance totale est donné par : $\left[\frac{N_{tot}}{C} - N_{tot} \cdot C \right]$, avec $C = \exp \left(1,96 \sqrt{\ln \left(1 + \left(\frac{SE(N_{tot})}{N_{tot}} \right)^2 \right)} \right)$.

2.1.3.4. Réalisation de cartes d'effort et d'observations

Les données GPS d'effort et d'observations sont importées dans le logiciel QGIS, sous forme respectivement de lignes et de points. La distribution de l'espèce dans la zone d'étude est représentée sous forme de grille, au sein de laquelle la fréquence d'observation, à savoir le nombre d'observations rapporté à l'effort réalisé, est calculée pour chacune des mailles, et ce pour chaque année de 2013 à 2021 et sur la période totale. Pour l'effort, le décompte du nombre de kilomètres par maille de la grille est cartographié sur ces mêmes périodes.

2.2. Résultats

2.2.1. Estimation d'abondance

2.2.1.1. Courbe de découverte

En 2013, soit au démarrage de la prise de photographies des Dauphins long bec, le nombre de nouvelles identifications connaît une croissance rapide. Depuis 2014, le nombre de nouvelles identifications augmente de manière plus lente, malgré un effort comparable, ce qui indique que la plupart des dauphins marqués observés étaient déjà connus des années précédentes (figure 3).

En décembre 2021, le catalogue des Dauphins à long-bec marqués D3 et D4 compte 74 individus.

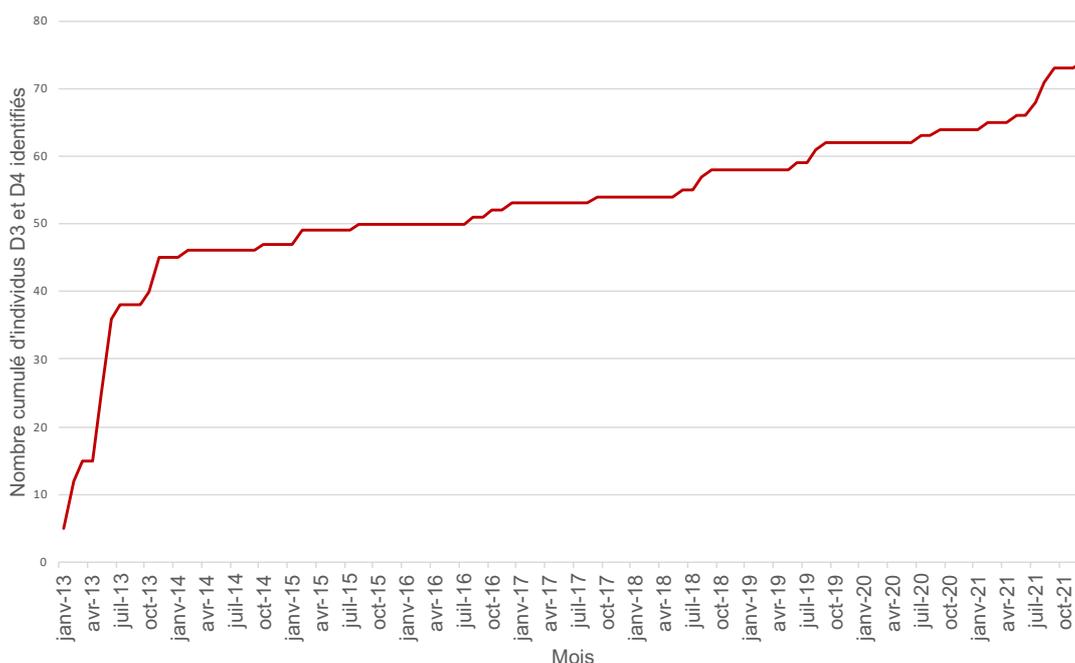


Figure 3 : Courbe de découverte des Dauphins long bec marqués au cours du temps

2.2.1.2. Abondance des individus marqués

Les résultats d'AIC obtenus pour chacun des 108 modèles sont regroupés dans l'annexe 2.

Le modèle ayant le plus petit AIC est le suivant : $S(\cdot)\gamma''(\cdot)\gamma'''(T)p(t,T)c(t,T)$, à savoir S, et γ''' constants en fonction du temps, γ'' variant entre les occasions primaires, p et c variant entre les occasions primaires et secondaires.

L'AIC de ce modèle étant supérieur à celui du deuxième modèle de plus de 2 unités ($\Delta AIC = 3,98$), ce modèle est retenu comme le plus pertinent.

Il donne les valeurs et leurs variances suivantes :

- Un taux de survie apparent (S) : constant de $0,95 \pm 0,10$;
- Des paramètres d'émigration temporaire : γ'' constant de $0,11 \pm 0,10$ et γ' variant en fonction des occasions primaires entre $0,68 \pm 0,54$ (2020) et $1,0 \pm 0,0$ (2013, 2015, 2016, 2017).
- Une probabilité de capture (p) variant avec les occasions primaires et secondaires entre 0,0 à 1,0.
- Une probabilité de recapture (c) variant avec les occasions primaires et secondaires entre $0,5 \cdot 10^{-16}$ (octobre 2017) à 1,0 (juin 2014).

D'après ce modèle, l'abondance de la population marquée pendant la période 2013-2021 varie en fonction de l'année (occasion primaire), avec un minimum de $N_D = 22,9 \pm 2,4$ individus en 2014, un maximum de $N_D = 38,4 \pm 7,4$ en 2021, et une moyenne de $N_D = 28,9 \pm 4,4$ sur la période totale.

2.2.1.3. Proportion d'individus marqués et abondance totale

Un total de 158 photographies prises sur 58 observations réalisées entre 2010 et 2021 a été analysé pour l'estimation de θ . On obtient $\theta = 30,1$ % (SD = 21,5%).

L'abondance totale varie donc par année, de $N_{tot} = 76,2 \pm 17,1$ (95IC = [49,2-117,8]) en 2014, à $N_{tot} = 127,7 \pm 35,6$ (95IC = [74,7-218,2]) en 2021 (tableau 3), soit une abondance moyenne par année de $93,8 \pm 14,7$ individus.

Les effectifs ne sont pas significativement différents entre 2013 et 2021 et sont donc plutôt stables sur la période d'étude (figure 4).

Paramètre	N_D	$SE(N_D)$	θ	N_{tot}	$SE(N_{tot})$	$IC(N_{tot})$
Méthode	Modélisation		Photos de groupes	Calcul		
2013	31,4	1413,8	0,30	104,3	4703,7	[0,5-23322,3]
2014	22,9	2,4		76,2	17,2	[49,2-117,8]
2015	26,0	0,0		86,5	17,3	[58,6-127,6]
2016	28,3	4,8		94,2	24,7	[56,8-127,6]
2017	26,7	6,6		88,9	28,4	[48,3-156,2]
2018	25,9	2,8		86,3	19,7	[55,5-134,2]
2019	27,0	0,0		89,8	18,0	[60,9-132,5]
2020	27,0	0,0		89,8	18,0	[60,9-132,5]
2021	38,4	7,4		127,7	35,6	[74,7-218,2]

Tableau 3 : Récapitulatif des valeurs de N_D , N_{tot} , et θ , et leur méthode d'estimation

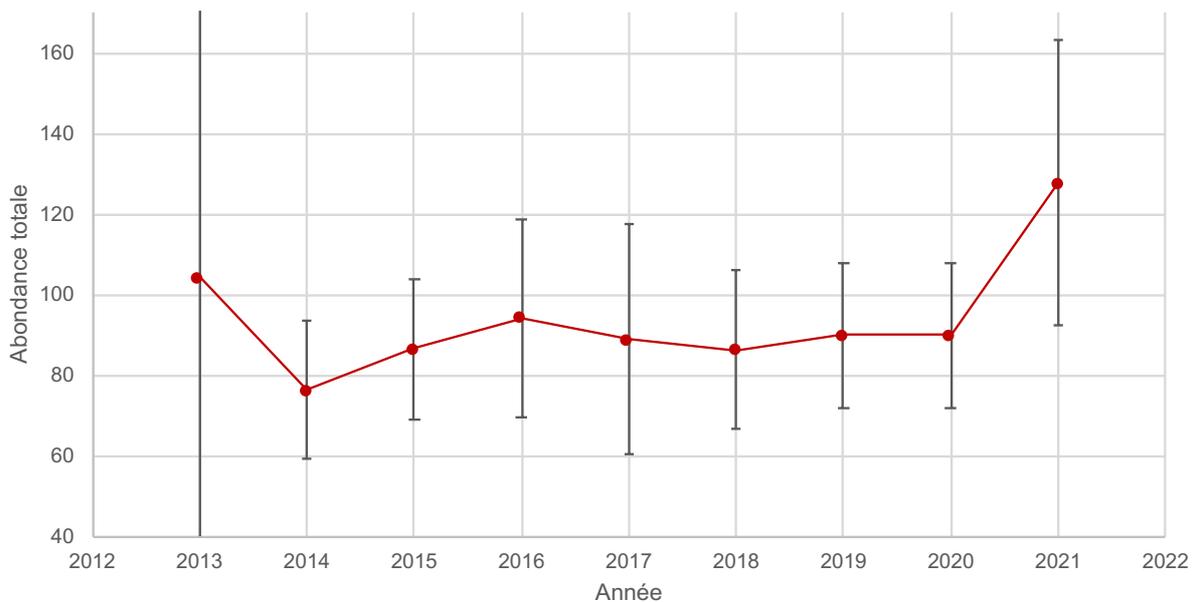


Figure 4 : Variation de l'abondance totale au cours des années, et variances associées

2.2.2. Distribution spatiale et caractéristiques topographiques de l'habitat

2.2.2.1. Distribution spatiale

Un total de 423 observations de Dauphins long bec a été réalisé sur la période 2013-2021, pour un effort total de 327 324 km. La grande majorité des observations a lieu avant 13h (97%).

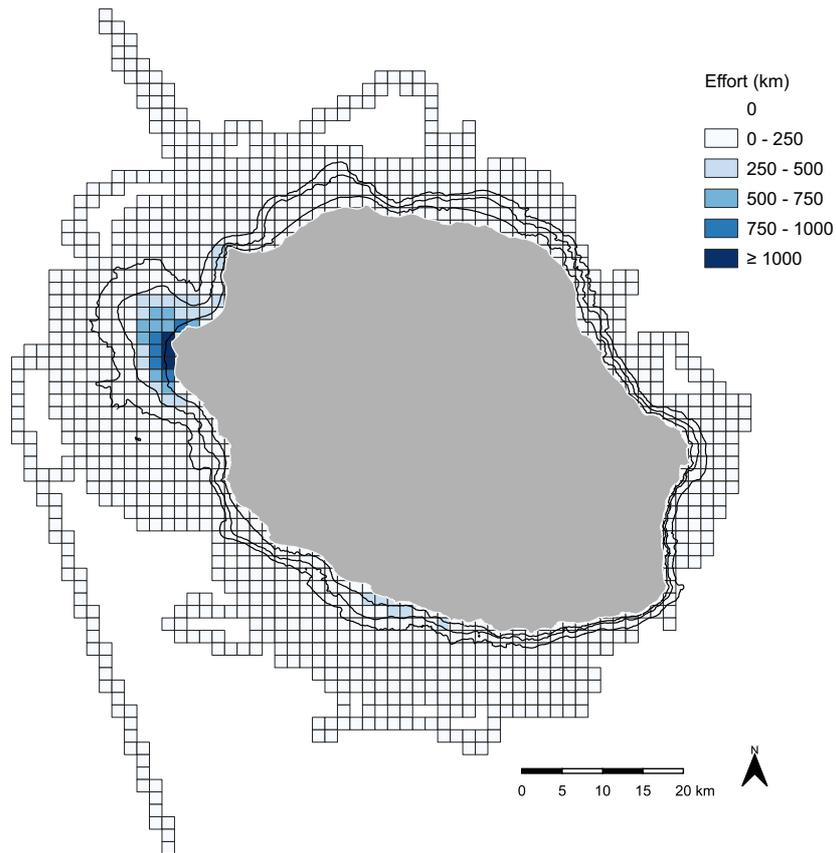
L'effort est concentré au large du port de St Gilles, en raison des conditions météorologiques souvent favorables dans cette zone et de la disponibilité de nombreux bateaux de location (carte 5).

Les Dauphins long bec occupent préférentiellement une zone située au large de St Gilles (97,4% des observations). Les observations sont très majoritairement situées à l'intérieur de la bande bathymétrique des 200 mètres (carte 6). On observe également quelques fréquences d'observations importantes dans cette même zone, mais au-delà de l'isobathe 200. Étant donné le faible effort réalisé à cette distance de la côte, un faible nombre d'observations (n=7) suffit à obtenir un nombre d'observations par kilomètre élevé, et on ne peut donc trancher sur la significativité de ce constat (carte 7). Trois de ces sept observations font partie des observations réalisées après 14h.

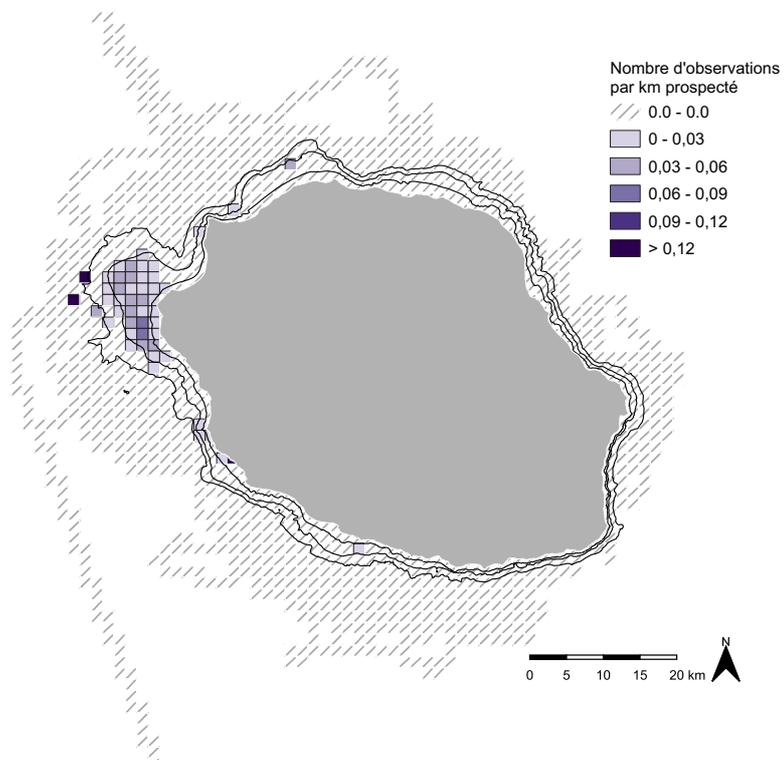
La fréquence d'observation importante observée au niveau de la ville des Avirons n'est pas interprétable en raison du faible effort réalisé dans cette zone, elle ne correspond qu'à 7 observations sur la période 2013-2021.

Sur les six observations situées en dehors de la zone de St Gilles, deux font partie des observations réalisées après 14h.

Les cartes d'effort et de fréquence d'observations par année sont regroupées en annexe 3.

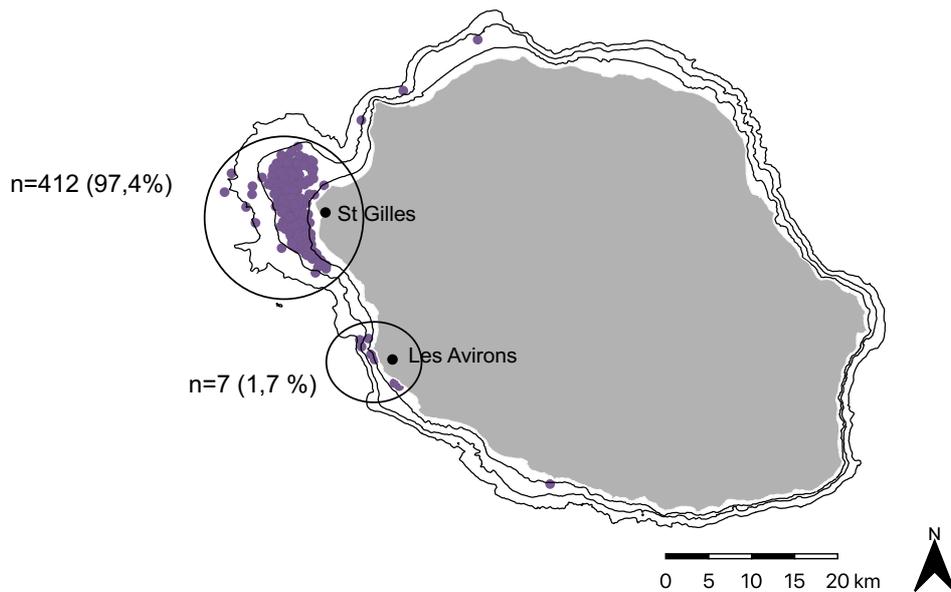


Carte 5 : Effort de prospection sur la période 2013-2021



Carte 6 : Fréquence d'observations des Dauphins long bec sur la période 2013-2021

Les isobathes 40, 200 et 500 sont indiquées en noir.



Carte 7 : Distribution spatiale des observations de Dauphins long bec entre 2013 et 2021, avec indication des proportions au large de St Gilles et des Aviron

2.2.2.2. Caractéristiques topographiques

Concernant le substrat, la population de Dauphins long bec est rencontrée à 85% dans des zones où le substrat est meuble, c'est-à-dire sableux, ou vaseux dans de très rares cas. De plus, 82,5% des fonds sableux sur lesquels sont rencontrés les Dauphins long bec sont d'origine bio-détritiques, donc de couleur claire. Ils ne sont que rarement observés sur des substrats sableux basaltiques de couleur sombre. Ces résultats sont illustrés ci-dessous (figures 5 et 6).

Les résultats concernant pente, profondeur et distance à la côte sont regroupés dans le tableau 4. La moitié des observations a lieu sur des faibles pentes ($<0,5^\circ$), et plus de 80% des observations sur des fonds de moins de $2,5^\circ$, ce qui montre une préférence pour des fonds quasi-plats (figure 7). La distance à la côte moyenne des observations est de 3014 m, et la distance médiane 2602 m. Moins de 3% des observations sont réalisées en-deçà de 1000 m, et au-delà de 7000 m (figure 8). Concernant la bathymétrie, 87,4 % des observations sont réalisés dans des zones où la profondeur est comprise entre 40 et 80 m (figure 9).

Étant donné que 97% des observations ont lieu avant 13h, et considérant le rythme circadien connu de cette espèce dans d'autres régions du monde, l'habitat principal ici décrit pourrait être une zone de repos et socialisation.

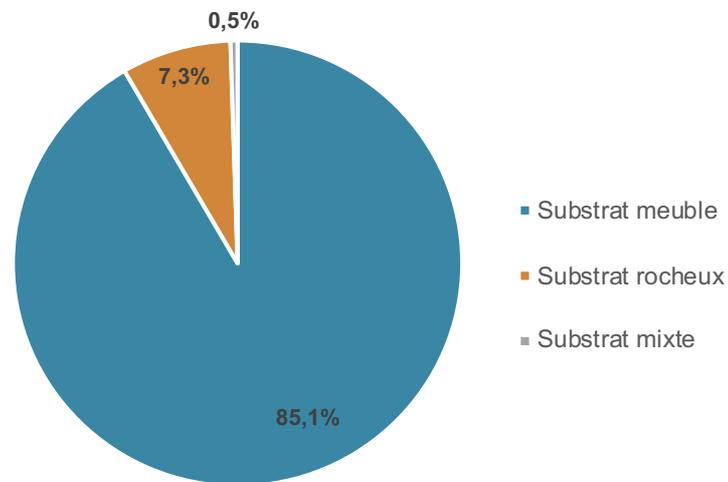


Figure 5 : Répartition des observations de Dauphins long bec entre 2013 et 2021 par type de substrat (n=393)

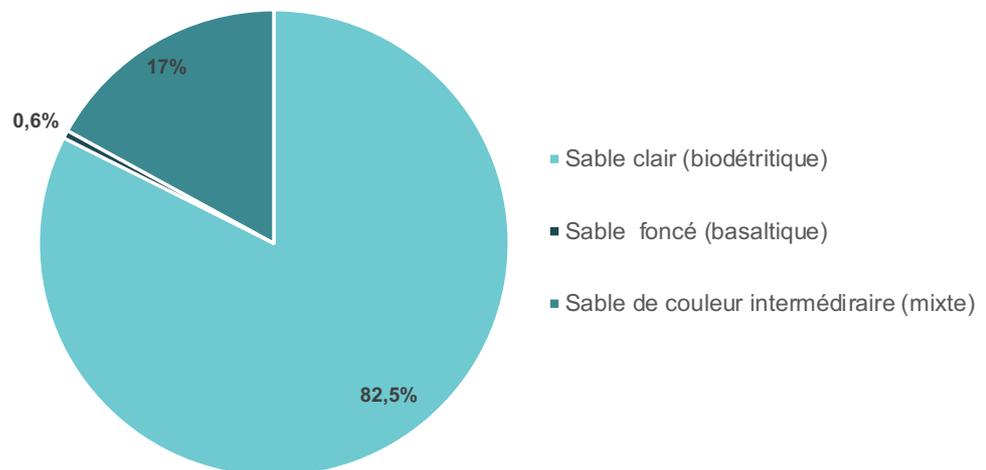


Figure 6 : Répartition des observations de Dauphins long bec réalisées sur substrat sableux entre 2013 et 2021 en fonction de la couleur (et origine) de celui-ci (n=359)

	Bathymétrie (m)	Pente (°)	Distance à la côte (m)
Nombre de données	421	421	423
Extrema	12-506	0,02-22,73	262-18012
Moyenne	69,2	1,4	3014,0
SE	47,1	2,3	1567,0
Médiane	61	0,5	2601
1 ^{er} quartile - 3 ^e quartile	58-65	0,2 -1,8	2061-3627

Tableau 4 : Statistiques basiques sur les données de bathymétrie, pente, et distance à la côte des observations de Dauphins long bec entre 2013 et 2021

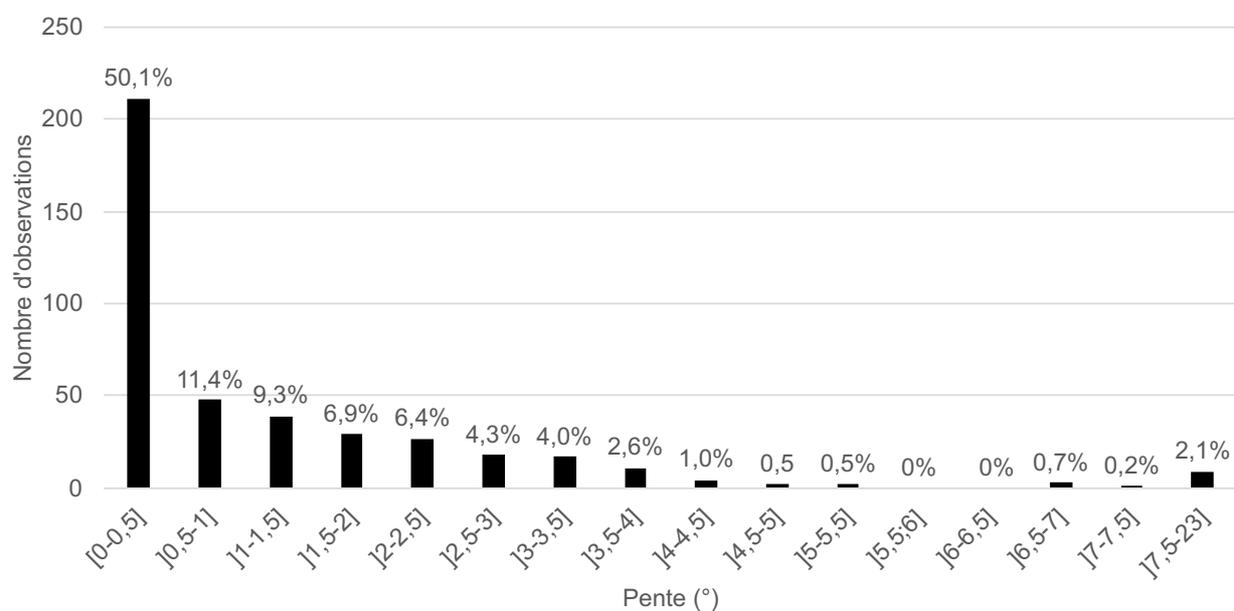


Figure 7 : Répartition des observations de Dauphins long bec entre 2013 et 2021 en fonction de la pente du fond océanique (n=421)

Il est à noter que la dernière classe n'est pas de taille homogène avec les précédentes.

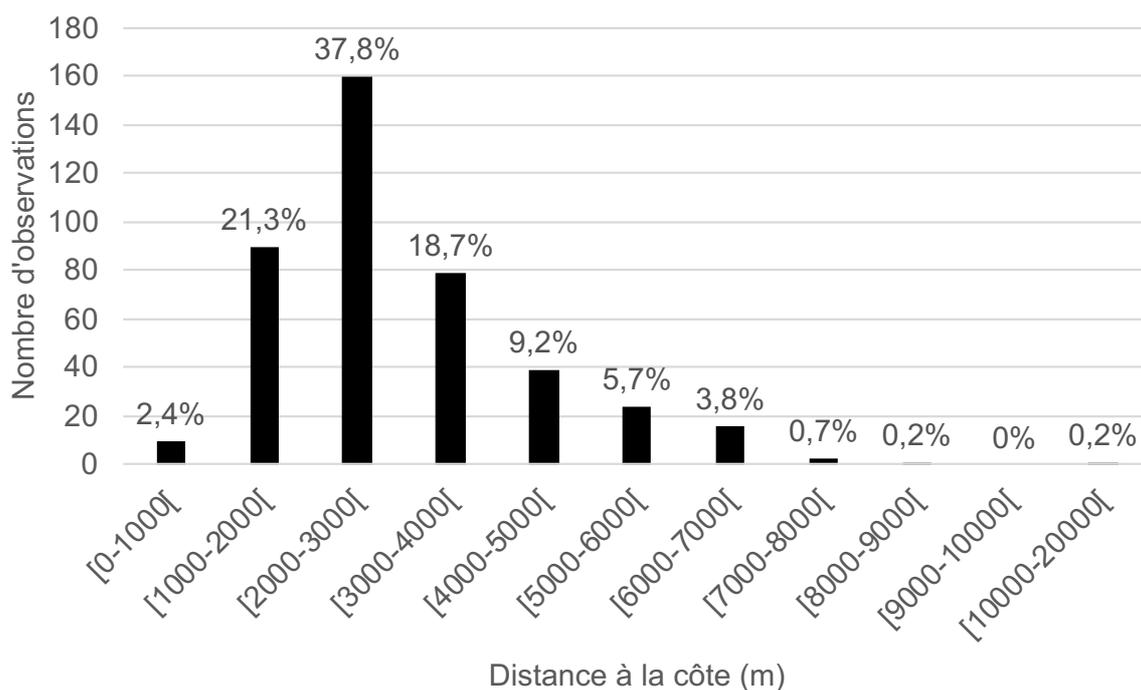


Figure 8 : Répartition des observations de Dauphins long bec entre 2013 et 2021 en fonction de la distance à la côte (n=423)

Il est à noter que la dernière classe n'est pas de taille homogène avec les précédentes.

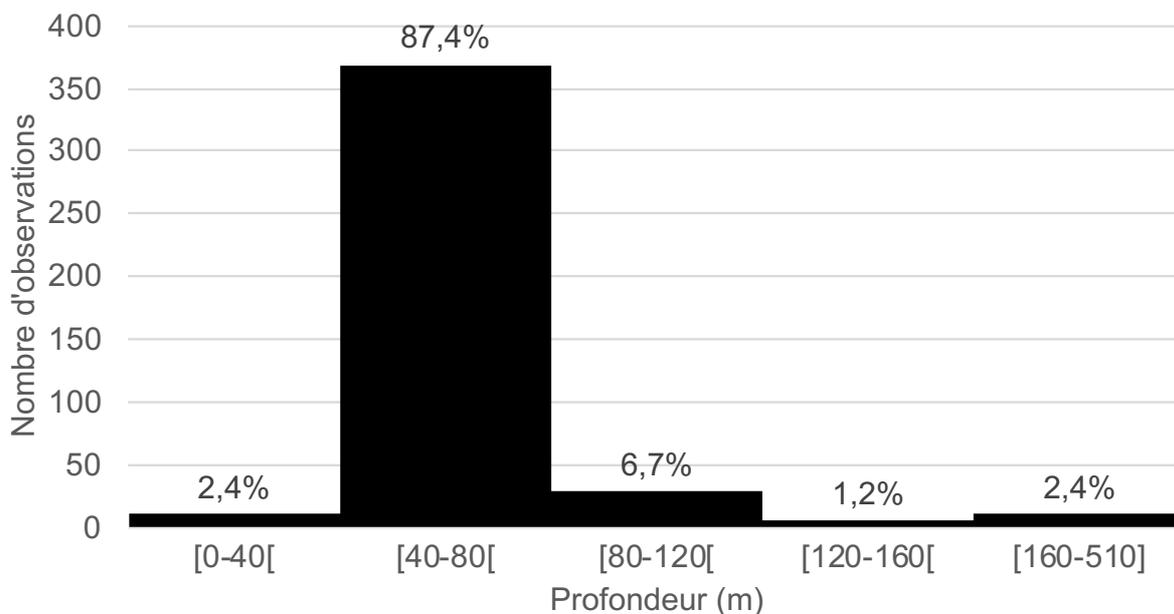


Figure 9 : Répartition des observations de Dauphins long bec entre 2013 et 2021 en fonction de la bathymétrie (n=421)

Il est à noter que la dernière classe n'est pas de taille homogène avec les précédentes.

PARTIE 3 : DISCUSSION ET PERSPECTIVES

3.1. Estimation d'abondance

3.1.1. Résultats d'abondance

L'abondance estimée à La Réunion est inférieure aux estimations d'abondance d'autres populations de Dauphins long bec en milieu insulaire (*i.e.*, 120 à 630 individus à Hawaii, selon les atolls (Tyne *et al.*, 2014 ; Karcsmarski *et al.*, 2005), 150 à Moorea (Poole, 1995), 138-399 à l'île Maurice (Webster *et al.*, 2015), environ 700 à Mayotte (Pusineri *et al.*, 2009)).

Le caractère non nul des paramètres d'émigration temporaire suggère une éventuelle connectivité avec d'autres régions de l'Océan Indien, qui sera discutée plus bas. La valeur du taux de survie apparent, qui inclut la survie réelle et l'émigration permanente ($0,95 \pm 0,10$), est relativement proche de celle retrouvée à Hawaii ($0,97 \pm 0,05$) (Tyne *et al.*, 2014). À la Réunion, on ne peut considérer qu'il s'agit du taux de survie réel puisque l'isolement génétique de la population n'a pas été démontré, mais la haute valeur de ce taux suggère néanmoins qu'il n'y a pour l'instant pas de tendance au déclin.

Ainsi, si l'abondance est relativement stable sur la période 2013-2021, son évolution reste à surveiller car il s'agit d'une population de petite taille. Ces deux paramètres, taille et déclin de la population, font partie des critères sur lesquels s'appuie l'UICN pour estimer le niveau de menace d'une espèce.

3.1.2. Méthodes

3.1.2.1. Moyens d'adaptation de la photo-identification à cette espèce

Chez les cétacés, la méthode de photo-identification traditionnelle s'appuie sur les marqueurs de la nageoire dorsale (Würsig et Würsig, 1977, Hammond *et al.*, 1990, Bichell *et al.*, 2017). Bien qu'utilisée chez de nombreuses espèces, plusieurs caractéristiques intrinsèques à certaines espèces peuvent rendre moins fiable son utilisation. Ces caractéristiques sont (Elliser *et al.*, 2022) :

- (1) Nageoire dorsale faiblement marquée (pas d'encoches ou encoches discrètes).
- (2) Comportement rendant difficile la prise de photographies (respiration rapide à la surface, changements de directions rapides et aléatoires, approche difficile...).

(3) Groupes de taille importante, compliquant la tâche de photographier l'intégralité du groupe.

(4) Population et donc catalogue d'individus marqués de taille importante, rendant laborieuse la phase de comparaison (> 500 individus).

(5) Population occupant un large habitat, qui rend difficile la prise photographique de l'intégralité du groupe.

Les critères (2), (4), (5) peuvent être considérés respectés chez le Dauphin long bec. En effet, son habitat connu est de surface faible, et le catalogue contient moins de 500 individus. Concernant son comportement en surface, le Dauphin long bec est plus vif en surface que la plupart des dauphins de plus grande taille (*T. aduncus* et *T. truncatus* à La Réunion), mais la réalisation de clichés reste faisable sans grande difficulté.

En revanche, les critères (1) et (3) ne sont pas optimaux chez le Dauphin long bec. En effet, les groupes sont de taille importante, donc l'intégralité du groupe est difficilement capturable. Pour compenser ceci :

- le temps passé à photographier est plus important que pour les petits groupes ;
- on se contente d'un seul des deux côtés de la nageoire dorsale pour considérer un individu comme capturé, ce qui intègre peu de biais puisque, par leur nature (perte de matière), les marqueurs primaires utilisés chez le Dauphin long bec sont symétriques entre les deux profils, à la différence des espèces pour qui on utilise la pigmentation. Plusieurs adaptations sont également appliquées pour compenser la nature faiblement marquée de leur nageoire dorsale (illustration 6) et diminuer le risque d'erreurs :
- utilisation de marqueurs dits secondaires ou temporaires, qui permet, entre deux observations rapprochées dans le temps, de confirmer l'identification faite à partir des marqueurs primaires (notamment lors de l'apparition de petites encoches) ;
- attribution d'un degré de qualité à chaque photo du catalogue et exclusion des photographies de qualité insuffisante, qui permettent de diminuer la probabilité d'erreur (ajout au catalogue d'un individu y figurant déjà, ou deux individus distincts regroupés sous le même individu), de même que l'exclusion des individus de degré de marquage faible (D1 ou D2) ;
- double vérification par des personnes expérimentées, que ce soit au moment de la constitution des dossiers de chaque observation, ou lors de l'ajout de nouveaux individus au catalogue.

De manière générale, plus le catalogue est de taille importante, plus une organisation en dossiers classant les individus selon la position des marqueurs primaires pourra faciliter le processus de comparaison.

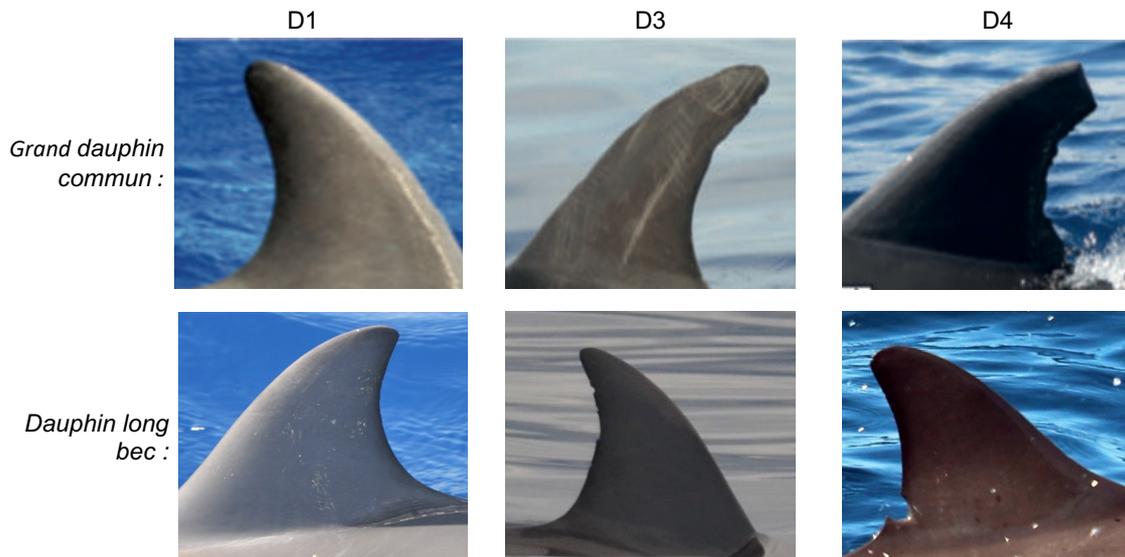


Illustration 6 : Comparaison des nageoires dorsales de même degré de marquage chez le Grand dauphin commun (haut) et le Dauphin long bec (bas)

3.1.2.2. Non-respect de l'hypothèse d'absence d'influence de la capture sur la recapture dans l'application du Robust Design

Le Test2CT dans *U-care* met en évidence un effet attractif du bateau. Si la méthode de capture en elle-même est non invasive, il y a donc tout de même une réponse comportementale au bateau qui pourrait influencer la recapture. Cette influence est observée régulièrement sur le terrain, une petite portion des groupes de Dauphins long bec aimant s'approcher et "surfer" à la proue du bateau. Pour compenser ce potentiel biais, on s'attache à ne pas photographier uniquement les individus à proximité immédiate du bateau, mais également ceux qui en restent à distance. Le Test2 donne néanmoins une probabilité de capture homogène entre les individus, ce qui rend l'utilisation du *Robust Design* raisonnable.

3.1.2.3 Estimation de la proportion d'individus marqués

La proportion d'individus marqués θ estimée dans la présente étude (30%) est :

- proche des 20% à 24% obtenus à Hawaii et Maurice (Norris *et al.*, 1994 ; Ostman, 1994 ; Webster *et al.*, 2015).
- largement inférieure aux 53% et 76% obtenus plus récemment à Hawaii (Karczmarski *et al.*, 2005) ;
- largement supérieure aux 15% obtenus en Polynésie française (Poole, 1995).

La diversité des méthodes utilisées peut aboutir à des résultats différents. Certains auteurs travaillent à l'échelle de la photographie, en divisant le nombre de clichés contenant des individus marqués par le nombre total de clichés, tous de bonne qualité et pris aléatoirement (Williams *et al.*, 1993). Cette méthode impose un nombre très important de photographies, et est biaisée par l'hétérogénéité de la probabilité de capture entre individus. Avec des groupes de taille restreinte comme c'est le cas pour *Tursiops aduncus* ou *Tursiops truncatus*, on peut estimer visuellement la taille totale du groupe et photographier tous les individus marqués. Le nombre d'individus marqués peut ensuite être divisé par la taille estimée du groupe (Tyne *et al.*, 2014 ; Dulau *et al.*, 2017). Cette deuxième méthode n'est pas optimale chez le Dauphin long bec qui évolue en groupe souvent trop grand pour en estimer précisément la taille ou photographier l'intégralité des individus marqués. Il a été montré que l'utilisation de la première méthode pour les groupes de plus de vingt individus, ou de la deuxième méthode pour les groupes de moins de vingt individus de Dauphins long bec, ne donnait pas de résultats significativement différents à l'échelle de la population (Tyne *et al.*, 2014). Pour certaines espèces comme *Tursiops truncatus*, sur une observation donnée, on peut différencier chaque individu grâce à des marqueurs secondaires des flancs ou de la dorsale, et cela même pour les individus sans marqueurs primaires qui sont donc exclus du catalogue de photo-identification. Le traitement des photographies, grâce à l'analyse des marqueurs temporaires, permet ainsi d'évaluer la composition et d'estimer la taille de groupe *a posteriori*, puis de calculer θ pour chaque observation. La proportion d'individus marqués de la population est alors la moyenne des proportions de chaque observation (Wilson, 1999). Cette méthode n'est pas applicable aux Dauphins long bec, qui forment souvent des groupes trop grands pour photographier tous les individus, et ne portent que peu de cicatrices.

À Maurice, la méthode utilisée est la même que dans la présente étude, mais a été réalisée sur un nombre plus restreint de photographies (n=40) (Webster *et al.*, 2015). À Hawaii, la méthode utilisée est également la même, sur un nombre similaire de photographies (n=95) (Karczmarski *et al.*, 2005), donc la différence observée dans la proportion d'individus marqués peut s'expliquer par des différences dans la constitution des différents groupes de marquage et leur inclusion dans la photo-identification, ou des différences de comportement, abondance de prédateurs, captures accidentelles et autres sources potentielles de traumatisme de la nageoire dorsale. Les méthodes utilisées n'étant pas toujours détaillées, il est difficile d'apprécier la part des différences liées à la méthodologie, et celle liée à une réelle différence de proportion d'individus marqués entre deux populations.

3.2. Distribution spatiale et caractéristiques topographiques de l'habitat

3.2.1. Comparaison à une étude antérieure à La Réunion

Une étude de l'habitat de la population de Dauphins long bec de La Réunion sur la période 2008-2012 a déjà été réalisée par Globice (Condet & Dulau-Drouot, 2016). Sur les périodes 2008-2012 et 2013-2021, la plupart des observations ont lieu avant 13h (99% sur 2008-2012 et 97% sur 2013-2021), et c'est donc l'habitat matinal du Dauphin long bec qui est étudié dans les deux cas.

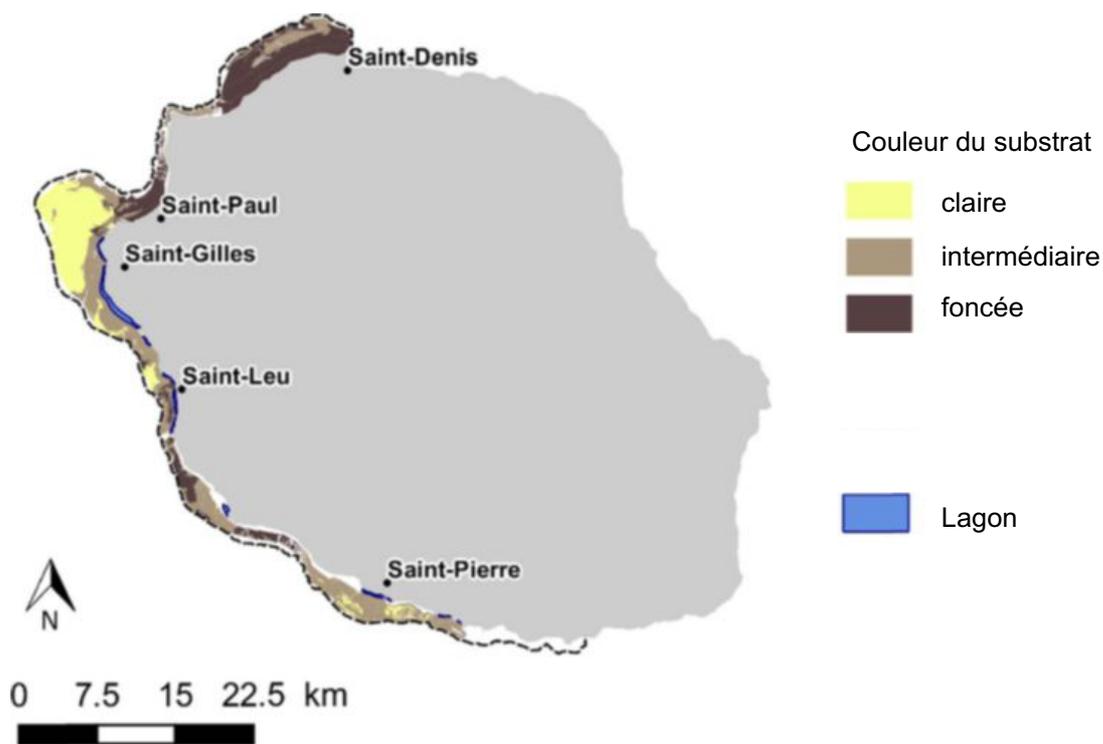
3.2.1.1. Distribution spatiale

Les deux études (Condet & Dulau-Drouot, 2016 et la présente étude) mettent en évidence un habitat matinal principalement restreint à une zone au large de St Gilles, avec 97% des observations dans cette zone entre 2013 et 2021, et 99% entre 2008 et 2012. L'habitat matinal de la population de Dauphins long bec est donc stable sur la période 2008-2021, situé au niveau d'une zone de haut-fond dite "sec" de St Gilles, d'une superficie estimée à 18 km² sur la période 2008-2012.

Le faible nombre d'observations réalisées l'après-midi dans les zones côtières nous oriente vers une probable migration vers le large l'après-midi.

3.2.1.2. Caractéristiques topographiques

Les ordres de grandeur des données de bathymétrie, profondeur, distance à la côte, et type et couleur du substrat sont cohérents avec l'étude de Condet et Dulau-Drouot (2016). Dans cette dernière, d'autres variables topographiques (distance aux différentes catégories de substrat et au lagon) sont également étudiées. Une Analyse Factorielle de la Niche Écologique (ENFA) a permis de montrer que la pente du substrat avait l'influence la plus significative dans la préférence d'habitat. Les Dauphins long bec seraient ainsi inféodés à des habitats ayant une pente sous-marine très faible (quasiment plats). Autour de la côte Ouest, les substrats de couleurs claires se retrouvent quasi-exclusivement au large de St Gilles (carte 8). Le "sec" de St Gilles est la seule zone de haut-fond, de pente quasi-nulle, et de couleur claire, donc en cas de perturbations qui pousseraient les individus à quitter cet habitat, il n'existe pas de zone refuge qui répondrait aux critères préférés par cette population.



Carte 8 : Couleur du substrat sous-marin autour de la côte Ouest de La Réunion
(Source : Condet & Dulau-Drouot, 2016)

La faible pente et la nature meuble du substrat pourraient faciliter la détection des prédateurs par écholocalisation en diminuant l'encombrement acoustique, et la couleur claire du substrat en augmentant leur détection visuelle (Norris *et al.*, 1994 ; Thorne *et al.*, 2012). La faible distance aux zones de fortes profondeurs permettrait une économie d'énergie et de temps de migration vers et depuis les zones de nourrissage, bien que leur localisation exacte reste pour l'instant inconnue à La Réunion (Norris *et al.*, 1994 ; Condet et Dulau-Drouot, 2016).

Ces études sont limitées à des variables abiotiques, en ce qu'elles sont fixes et facilement mesurables. Des variables abiotiques de nature physico-chimique telles que salinité, turbidité, température de l'eau, courant, houle, pH, ont également une influence sur la répartition des cétacés (Gannier & Petiau, 2006 ; Cribb *et al.*, 2008 ; Praca & Gannier, 2008), et pourraient être étudiées à La Réunion. La distribution des proies et des prédateurs, force principale influençant la distribution des cétacés, est beaucoup plus difficilement estimable, du fait de la complexité de sa mesure et sa variabilité spatio-temporelle (Heithaus & Dill, 2002 ; MacLeod *et al.*, 2004 ; Eierman & Connor, 2014). En revanche, la nature du substrat, incluse dans cette étude, impacterait la distribution des proies et leur détection par les prédateurs (MacLeod *et al.*, 2004 ; Thorne *et al.*, 2012 ; Tyne *et al.*, 2015).

3.2.2. Comparaison à d'autres régions

3.2.2.1. Distribution spatiale

L'habitat matinal des Dauphins long bec réunionnais est différent de celui de nombreuses autres populations ailleurs dans le monde. En effet, à Hawaii (Norris *et al.*, 1994 ; Thorne *et al.*, 2012 ; Tyne *et al.*, 2015), en Polynésie française, aux Maldives, en Egypte (Notarbartolo-Di-Sciara *et al.*, 2008), ou encore au Brésil (Silva et Silva Jr, 2009), ces dauphins pénètrent dans les lagons, zones récifales ou encore baies très fermées type "golfe". À La Réunion, les lagons sont jeunes donc trop peu profonds (< 2m) pour abriter les Dauphins long bec, et il n'existe pas de baies fermées. En effet, les baies de St Paul, La Possession, l'Étang-Salé sont semi-ouvertes, et le substrat y est de couleur foncée (nature basaltique), donc évité par cette population (Condet et Dulau-Drouot, 2016). À Mayotte, les Dauphins long bec pénètrent également rarement dans le lagon qui atteint pourtant les centaines de mètres de profondeur par endroit (Kiszka *et al.*, 2010a).

3.2.2.2. Caractéristiques topographiques de l'habitat

À Hawaii, le substrat préférentiel est également de faible pente, sableux à l'intérieur comme à l'extérieur des baies, mais les profondeurs préférées plus faibles qu'à La Réunion (< 50 m) (Thorne *et al.*, 2012). Les dauphins y sont observés au repos quasi-exclusivement à l'intérieur des baies, alors qu'ils sont souvent en nage active au-dessus des fonds sableux situés hors des baies. Cette observation suggère que ce n'est pas le type de substrat qui confère une protection aux populations de Dauphins long bec hawaïennes, mais peut-être le caractère davantage abrité des prédateurs naturels et de la houle, protection qu'ils ne retrouvent pas en zone plus ouverte et profonde (Norris *et al.*, 1994 ; Tyne *et al.*, 2015). Il serait intéressant de comparer les modalités des phases de repos entre ces deux populations, pour tenter d'expliquer comment la population réunionnaise s'adapte à un habitat ne possédant pas les mêmes caractéristiques.

La préférence pour des fonds de couleur claire a également été mise en évidence à Hawaii (Norris *et al.*, 1994), à Tahiti (Gannier & Petiau, 2006), à Maurice (Webster *et al.*, 2012). Comme expliqué précédemment, ce type de substrat favoriserait la détection visuelle des prédateurs (Norris *et al.*, 1994).

3.2.3. Perspectives : étude de l'habitat nocturne

La quasi-totalité des observations de Dauphins long bec étant réalisée le matin, seul son habitat matinal est connu. Leur absence près des côtes l'après-midi, ainsi que des analyses d'isotopes stables (Dirtu *et al.*, 2016), suggèrent qu'ils quittent leur habitat matinal au cours de la journée pour une aire de nourrissage moins côtière. Pour étudier l'habitat nocturne de ce dauphin à La Réunion, un effort de prospection au large doit être poursuivi l'après-midi, avec tentative de suivi depuis le matin. Ce travail pourra être corrélé à des données comportementales qui permettront de comparer l'activité de la population à différents moments de la journée, pour mieux comprendre la périodicité des phases de nourrissage et de repos chez cette population.

3.3. Vulnérabilité de la population à l'échelle de La Réunion : focus sur le *whale-watching*

Identifié comme risque principal pour la population de Dauphins long bec de la Réunion, le *whale-watching* sera la menace la plus largement détaillée ci-après (Cottarel *et al.*, 2018).

3.3.1. Généralités sur le *whale-watching* à La Réunion

*3.3.1.1. Organisation et importance du *whale-watching* réunionnais*

De nombreuses activités touristiques liées à la mer sont praticables dans les eaux réunionnaises : pêche au gros, plongée, croisière à la journée, location de bateaux ou jet-ski, voile.... Les activités de *whale-watching*, concentrées dans l'Ouest de l'île, attirent chaque année un nombre grandissant de touristes et locaux (Sandron *et al.*, 2015).

Sur les vingt-quatre espèces de cétacés répertoriées à La Réunion (Dulau-Drouot *et al.*, 2008 ; Globice, données internes), cinq sont la cible d'un *whale-watching* fréquent depuis des bateaux dédiés :

- les quatre espèces de dauphins résidant toute l'année autour de l'île : le Grand dauphin commun (*Tursiops truncatus*), le Dauphin long bec (*Stenella longirostris*), le Grand dauphin de l'Indo-Pacifique (*Tursiops aduncus*), et dans une moindre mesure le Dauphin tacheté pantropical (*Stenella attenuata*) ;
- la Baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*), présente pendant l'hiver austral (juin-octobre).

Alors qu'en 2003, il n'y avait que deux structures (incluant trois bateaux) de *whale-watching* professionnelles, aujourd'hui, leur nombre a au moins décuplé. Ils proposent recherche et observation des cétacés, voire mise à l'eau avec les cétacés. À ces compagnies professionnelles s'ajoutent d'autres potentiels acteurs de *whale-watching*, notamment par le biais des bateaux de location. Le nombre de bateaux pratiquant du *whale-watching* augmente pendant la saison des Baleines à bosse. La présence en hiver austral de cet animal est en effet un atout attractif majeur, alors que les dauphins résidant à l'année ne sont pas un élément déterminant dans le choix de La Réunion comme destination touristique (Sandron *et al.*, 2015).

Il est estimé qu'en 2008, plus que 3248 personnes ont participé à des sorties consacrées à l'observation des cétacés, générant un total de 460304 dollars

(O'Connor *et al.*, 2009). Aucune donnée plus récente n'est disponible, mais le taux de croissance annuel de cette activité trouvé dans cette étude (29,2%) laisse supposer que les chiffres actuels sont bien supérieurs.

3.3.1.2. Historique de la réglementation autour du whale-watching

- Niveau national

Comme évoqué précédemment, l'arrêté ministériel du 1er juillet 2011 interdit la poursuite et le harcèlement des cétacés, et, depuis 2021 et suite au rapport CIMer 2019, il interdit également l'approche intentionnelle de tout cétacé à moins de 100 mètres dans les aires marines protégées, dont fait partie la réserve naturelle nationale marine de La Réunion qui sera détaillée plus bas.

- Niveau régional

Dès 2005, l'association Globice et le Muséum d'Histoire Naturelle de Saint-Denis collaborent pour élaborer une première charte d'approche des cétacés en mer, visant une approche respectueuse des cétacés par bateau.

En 2007 et 2008, face à une fréquentation augmentée des Baleines à bosse, sont relevés des comportements montrant une méconnaissance des règles d'approche par bateau. Ils conduisent à des situations parfois dangereuses, aussi bien pour les cétacés que pour les plaisanciers. Le Syndicat des Professionnels des Sports de Loisirs sur l'île de La Réunion (SYPRAL), et l'association des Plaisanciers du Port de St Gilles, réfléchissent alors avec Globice à une nouvelle Charte d'approche, sous l'égide de la Préfecture en 2009. Elle ne concerne alors que la Baleine à bosse, et fixe les règles de bonne conduite concernant son approche en bateau ou à la nage.

En 2013, la Direction de la Mer du Sud Océan Indien (DMSOI), service de la transition écologique et du ministère de la mer en charge du développement durable des activités marines, crée le label "Observation Certifiée Responsable des Cétacés à La Réunion" (O2CR, illustré en annexe 4). La demande d'accréditation se fait sur la base du volontariat, et concerne aussi bien les professionnels que les plaisanciers. Vingt-cinq critères reposant sur les trois piliers du développement durable (économie, environnement, social) sont à respecter, selon le statut du demandeur (navire à passagers, de plongée, de location, ou de pêche). Son objectif est de permettre une activité sûre, autant pour les cétacés que pour les humains.

En 2017, la charte est étendue à l'ensemble des cétacés et aux tortues marines, sous l'impulsion de la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL). Depuis cette date, c'est l'association Centre d'Étude et de Découverte des Tortues Marines (CEDTM) qui se charge de la révision annuelle des recommandations de la Charte et du Label. Une équipe de sensibilisation a également été créée par le CEDTM, l'équipe Quiétude, qui approche directement les usagers de la mer et encourage aux bonnes pratiques d'approche.

Les grandes lignes de la Charte (illustrée en annexe 5) concernant l'approche par bateau des cétacés et tortues marines sont les suivantes :

- Lors d'une observation et à partir de 300 m environ : ralentir, éviter les changements d'allure et de direction brusques, ne pas séparer les individus du groupe ou leur couper la route, aborder le groupe parallèlement à sa trajectoire ;
- À moins de 100 m environ : cinq bateaux maximum, tous les bateaux du même côté des animaux, céder sa place toutes les 15 minutes quand des bateaux attendent en dehors de la zone, limiter dans tous les cas son temps d'observation à 45 minutes.

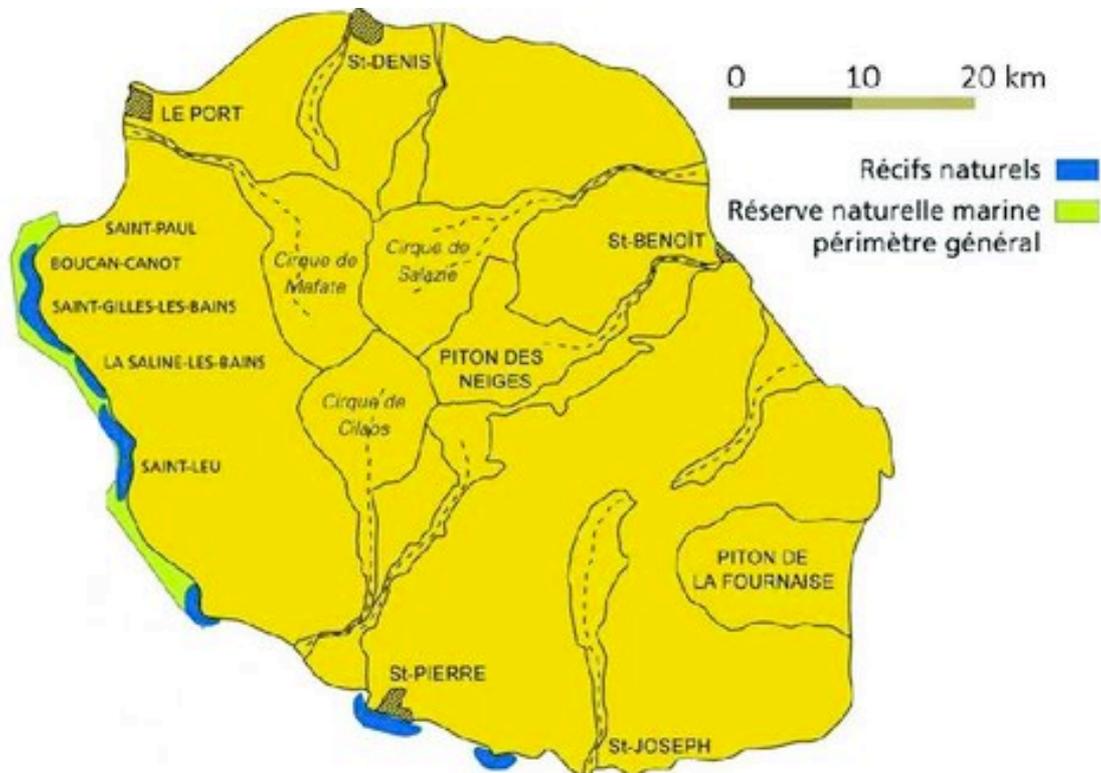
Concernant la mise à l'eau, les règles principales sont :

- Mise à l'eau uniquement quand moins de cinq navires sont en observation, sur des groupes d'animaux non actifs (pas de sauts, frappes de nageoires, nage rapide) ;
- Équipement : combinaison, palmes, masque, tuba, bouée de signalement ;
- Composition du groupe : un encadrant compétent et 10 amateurs maximum ;
- Attitude du groupe : Distance minimale de 15 mètres des animaux, attitude passive et contemplative, temps d'observation limité à 45 minutes ou 15 minutes selon si d'autres groupes sont en attente.

En 2019, un arrêté préfectoral complète la réglementation de l'approche et de l'observation des cétacés. Il précise et complète les règles d'approche de la Charte, et ajoute la définition de période d'interdiction intentionnelle d'approche, dite "période de quiétude", des cétacés :

- par bateau : entre 18h et 9h ;
- par mise à l'eau : entre 16h et 9h.

Enfin, comme évoqué précédemment, depuis 2021, l'approche intentionnelle de tout cétacé est interdite à moins de 100 m dans les 35 km² de la Réserve Naturelle Marine de La Réunion (carte 9).

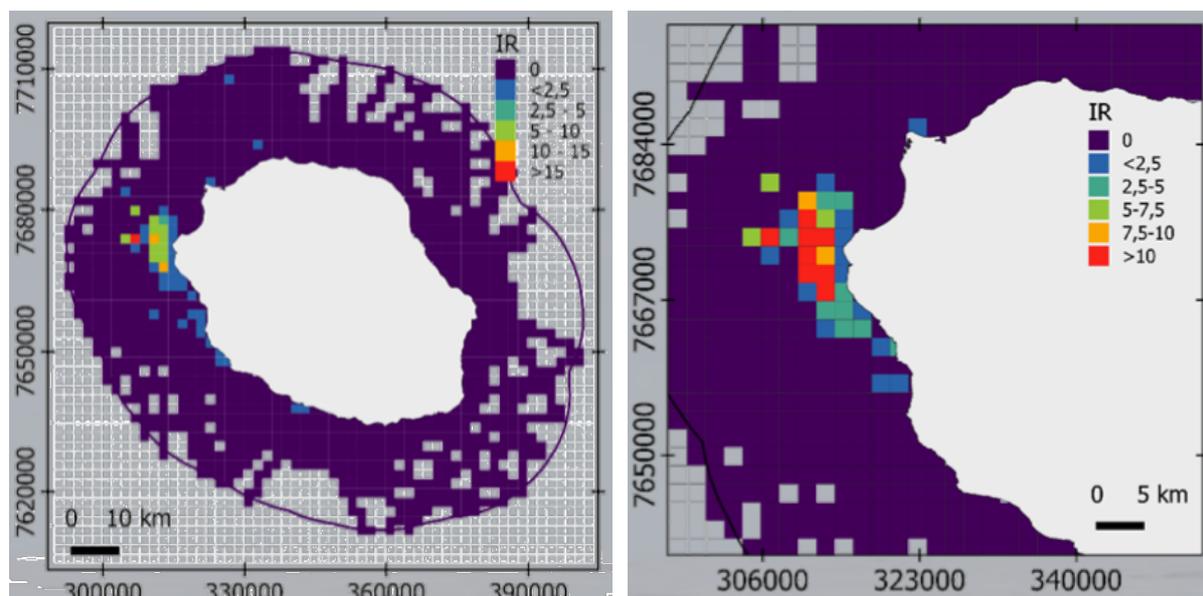


Carte 9 : Localisation de la Réserve naturelle marine de La Réunion
(Source : Le Pape et al., 2010)

3.3.2. Exposition des Dauphins long bec aux bateaux de *whale-watching*

L'habitat matinal du Dauphin long bec est restreint à une zone unique et de faible superficie située au large de St Gilles (Partie 4 ; Condet et Dulau-Drouot, 2016). Il s'agit d'une zone à fort trafic maritime, car elle est souvent abritée du vent et de la houle, et située à proximité du port de plaisance le plus dynamique de l'île (Sandron et al., 2015). La localisation et faible superficie de leur habitat, associées à la taille importante du groupe, facilitent leur détection par les navires de *whale-watching* (Chazot et al., 2020). Aussi, la réalisation de sauts vrillés et la nage à la proue des bateaux en font des candidats appréciés par les *whale-watchers*.

En superposant les données d'observations par espèce et le trafic maritime des différents types de bateaux, le projet Scan'R porté par Globice en 2021-2022 a montré que le risque d'exposition du Dauphin long bec aux navires de plaisance (*whale-watching*, location et plongée) est majoritaire (carte 10).



Carte 10 : Risque d'exposition des Dauphins long bec aux bateaux de plaisance (à gauche) et en particulier aux navires de compagnies de *whale-watching* (à droite)

(Source : Globice, 2022)

3.3.3. Impact du *whale-watching* sur les Dauphins long bec

En 2021, le Centre d'Etude Des Tortues Marines (CEDTM) publie la première analyse des effets du *whale-watching* sur la population de Dauphins long bec réunionnaise entre 2018 et 2020 (Quintana Martin-Montalvo *et al.*, 2021). Dans 95% des observations, les Dauphins long bec étaient déjà en présence de navires. Outre les collisions et dangers liés à la pollution chimique et acoustique, cette étude montre que l'arrivée de navires de *whale-watching* entraîne une interruption de l'activité en cours du groupe. Les phases de socialisation entre congénères et de repos sont écourtées, et le temps de voyage et de sonde (échappement horizontal et vertical) augmentés. Ce phénomène augmente avec le nombre de bateaux présents et le non-respect des mesures de la Charte d'approche (temps de présence avec les animaux, nombre et comportement des bateaux).

De telles observations ont déjà été mises en évidence ailleurs dans le monde, ainsi que chez d'autres espèces de dauphins (Tyne *et al.*, 2008, Heenehan *et al.*, 2017, May-Collado *et al.*, 2015, Stack *et al.*, 2020).

Le cumul de ces réactions, par le stress engendré, le coût énergétique augmenté, les moindres chances de reproduction et la diminution de la vigilance aux prédateurs, peut représenter une menace à long terme à l'échelle de la population (Dukas et Clark, 1995 ; Lusseau, 2003 ; Dans *et al.*, 2008 ; Christiansen *et al.*, 2010, 2013).

Bien que le *whale-watching* soit un moyen de sensibilisation du grand public à la préservation des cétacés, et un atout économique indéniable (Zeppel, 2008), s'il n'est pas pratiqué de manière raisonnée, il devient une menace importante à l'échelle de l'individu et de la population.

3.3.4. Perspectives concernant la réglementation du *whale-watching*

La période de quiétude, mise en place en 2020 et qui interdit l'approche intentionnelle des cétacés à moins de 300 m entre 18h et 9h, n'isole la population de la pression des navires de *whale-watching* que pendant une faible partie de sa période de repos. L'associer à des restrictions spatiales pourrait être intéressant mais est compliqué à instaurer en raison de la situation géographique de leur habitat, et du manque de connaissances sur son habitat nocturne (Constantine, 2002 ; Fumagalli *et al.*, 2018). Des progrès sont encore à faire sur le respect des règles de la Charte d'approche, et cela passe par l'impulsion d'une meilleure coordination entre les compagnies de *whale-watching*, une surveillance voire pénalisation des mauvais comportements en mer, l'éducation et sensibilisation des différents usagers de la mer, et une poursuite de la recherche scientifique sur cette population (Quintana Martin-Montalvo *et al.*, 2021).

3.3.5. Autres menaces dans les eaux réunionnaises

Les éléments suivants sont également susceptibles de représenter une menace pour cette espèce côtière à La Réunion.

3.3.5.1. Trafic et travaux maritimes, aménagement du littoral

- Nuisance sonore

Outre les navires de plaisance, le projet Scan'R met en évidence un trafic maritime recouvrant en totalité l'habitat de repos du Dauphins long bec, tous navires confondus (pêche, travaux...). Les risques de collision, pollution sonore, chimique, et perturbation comportementale, ne se limitent donc pas aux navires de *whale-watching* (Globice, 2022 ; Cottarel et al, 2018).

Avec près de 800000 habitants, concentrés essentiellement sur le littoral, et un tourisme en augmentation globale (Sandron *et al.*, 2015), on peut raisonnablement penser qu'à La Réunion également, l'aménagement croissant du littoral (aménagements routiers, logements, activités touristiques) représente une menace non négligeable pour cette espèce côtière. Des mesures réglementaires et études d'impact *a priori* et *a posteriori* ont été mises en place dans le cadre de la construction de la Nouvelle Route du Littoral, route de 14 km construite en mer à partir de 2014. Les résultats de ces études ne permettent pas encore de quantifier l'impact de ce gros chantier sur les cétacés (Quiet Oceans, 2014 ; Cottarel *et al.*, 2018).

- Pollution

Une récente étude éco-toxicologique réalisée à La Réunion montre que les Dauphins long bec sont moins exposés aux polluants d'origine anthropique que les Grands dauphins communs (*Tursiops truncatus*) dont l'habitat est uniquement côtier (Dirtu *et al.*, 2016). De manière générale, le phénomène de bioaccumulation est particulièrement important chez les Odontocètes, en raison de leur longue espérance de vie et leur statut de prédateurs secondaires dans la chaîne alimentaire (Ellisor, 2013).

Le risque inhérent aux micro ou macro-plastiques n'est pas quantifié, mais suggéré par la fréquente ingestion de ceux-ci par les tortues marines recueillies par le centre de soins Kélonia (Claro & Hubert, 2011).

3.3.5.2. Pêche et capture accidentelle

Ce risque concerne la totalité du pourtour de l'île, et diverses méthodes de pêche. Seuls deux cas de Dauphins long bec capturés accidentellement ont été reportés dans les eaux réunionnaises (Dulau *et al.*, 2008). Les Dauphins long bec figurent néanmoins, avec les Grands dauphins communs, parmi les espèces de cétacés les plus concernées par les captures accidentelles par des filets maillants dans l'Océan Indien (Anderson, 2014), notamment reportées à Zanzibar (Amir *et al.*, 2005), aux Comores et à Madagascar (Kiska *et al.*, 2008).

En 2021, un éléphant de mer est mort enchevêtré dans un des filets anti-requins de la côte Ouest de l'île (Globice, données internes). De par leur déploiement très côtier, ces filets ne semblent cependant pas constituer une menace importante pour la population de Dauphins long bec.

3.3.5.3. Menaces naturelles

Concernant les menaces naturelles, un cas d'infanticide de nouveau-né Dauphin long bec par des Grands dauphins communs, dont l'aire habitée recouvre entièrement celle du Dauphin long bec, a été mis en évidence, sans que l'on estime la fréquence de ce type d'évènement (Estrade et Dulau, 2017).

3.4. Perspectives : étude de la dynamique de population

Dans l'Océan Indien, le Dauphin long bec est largement présent : le long des côtes Est de l'Afrique (De Boer *et al.*, 2002), à Madagascar (Rosenbaum, 2003), aux Comores (Kiszka *et al.*, 2010b), à Mayotte (Kiszka *et al.*, 2010a), aux Seychelles (Hermans & Pistorius, 2008), à Maurice (Webster *et al.*, 2015), à Rodrigues et à proximité de Grande Glorieuse (Globice, données non publiées). Comprendre la dynamique des populations est essentiel afin de délimiter l'unité démographique à protéger et de prendre en compte les différents risques inhérents à chaque zone occupée.

Dans le Pacifique, il a été montré que certaines populations de Dauphins long bec forment des structures sociales de type "fusion/fission", la composition des groupes variant fréquemment, avec parfois des agrégations au moment de la chasse nocturne. En revanche, d'autres populations présentent une structure plus stable et un taux de

fidélité au site plus important (Norris *et al.*, 1994 ; Poole, 1995 ; Karczmarski *et al.*, 2005).

La dynamique des populations de l'Océan Indien et leur structure sociale sont encore largement méconnues. Une récente étude a montré qu'il y a des échanges génétiques très faibles mais réguliers entre les populations de Dauphins long bec de La Réunion et de Mayotte, île située à 900 km au Nord-Ouest. Il s'agit de populations démographiquement indépendantes, mais s'inscrivant tout de même dans la dynamique de métapopulation (populations distinctes mais avec des échanges de gènes réguliers) (Viricel *et al.*, 2016). Plus que la distance géographique séparant ces deux zones, la dépendance à des zones côtières peu profondes comme aire de repos serait un facteur important restreignant les échanges génétiques, comme c'est le cas pour les populations de Dauphins long bec polynésiennes (Oremus *et al.*, 2007 ; Viricel *et al.*, 2016). Le fait que les paramètres d'émigration temporaire donnés par le modèle du *Robust Design* soient non nuls dans cette étude suggère l'existence de migrations, et il serait utile de réaliser ces comparaisons génétiques avec d'autres îles environnantes plus proches (Maurice, Madagascar...).

Par ailleurs, la comparaison des catalogues de photo-identification des îles environnantes est un moyen facile d'apprécier les échanges d'individus, et le partage des données d'observations peut renseigner sur les profils de migration des individus en commun dans chaque île. En 2012, la comparaison des catalogues mauricien et réunionnais a mis en évidence 8 individus en commun dans les deux îles (Globice, données internes). Du point de vue de la conservation, cette observation est positive car suggère l'existence d'un brassage génétique et la possibilité d'apport de nouveaux individus pour renouveler les effectifs.

Enfin, la réalisation d'une Classification Ascendante Hiérarchique à partir des données d'observations de chaque individu permettrait de faire ressortir différents profils de fréquentation de l'île (utilisateurs permanents, réguliers ou occasionnels), comme cela a déjà été fait pour d'autres espèces réunionnaises (Estrade & Dulau, 2020), toujours dans le but d'estimer plus précisément les risques à considérer pour la population de Dauphins long bec réunionnaise.

CONCLUSION

La population de Dauphins long bec réunionnaise présente une abondance relativement stable sur la période 2013-2021, avec $93,8 \pm 4,7$ individus en moyenne sur cette période. L'habitat matinal de cette population est restreint à une unique zone, côtière, de faible superficie, dont les substrats sont de pente faible et couleur claire, au large du port de plaisance de St Gilles, le plus fréquenté de l'île.

Le caractère côtier et prévisible de son habitat matinal, et le comportement joueur de l'espèce, en font une population particulièrement soumise à la présence de navires de *whale-watching*. Cette activité, qui concerne très fréquemment les Dauphins long bec, a un impact néfaste à l'échelle individuelle (perturbations des activités vitales) et potentiellement à celle de la population. Le suivi démographique de cette population est donc essentiel, et à associer à la surveillance du respect des mesures réglementaires actuelles d'approche des cétacés. Pour appréhender les risques, et adapter au mieux la réglementation liée à l'approche de cette population, les connaissances liées à son habitat post-méridien et nocturne, à la périodicité de ses activités de nourrissage et de repos, et à des éventuelles connectivités dans la zone de l'Océan Indien, doivent être approfondies.

REFERENCES

- AMIR, Omar A., JIDDAWI, Narriman S., BERGGREN, Per, 2005. The occurrence and distribution of dolphins in Zanzibar, Tanzania, with comments on the differences between two species of *Tursiops*. *Western Indian Ocean Journal of Marine Sciences*. 2005. Vol. 4, n° 1, pp. 85-93.
- ANDERSON, Charles R., 2014. Cetaceans and Tuna Fisheries in the Western and Central Indian Ocean. *International pole & line foundation*. n°2, pp. 133.
- ARCHER, F., GERRODETTE, T., JACKSON, A., 2002. Preliminary estimates of the annual number of sets, number of dolphins chased, and number of dolphins captured by stock in the tuna purse-seine fishery in the eastern tropical Pacific, 1971- 2000. *Rapport LJ-02-10, Southwest Fisheries Science Center, La Jolla*.
- BAKUN, A., ROY C. et LLUCH-COTA, S., 1998. Coastal upwelling and other processes regulating ecosystem productivity in the western Indian Ocean. *Large marine ecosystems of the Indian Ocean: Assessment, Sustainability and Management*. Cambridge: Blackwell Sciences, pp. 394.
- BASQUE, Rémy, THÉBAUD, Christophe et PROBST, Jean-Michel, 1997. Observation d'un mammifère marin nouveau pour La Réunion le Dauphin à long bec *Stenella longirostris*. *Bulletin Phaethon*. 1997. Vol. 5, pp. 2.
- BEARZI, G., BJØRGE, A., FORNEY, K.A., HAMMOND, P.S., KARKZMARSKI, L., KASUYA, T., PERRIN, W.F., SCOTT, M.D., WANG, J.Y., WELLS, R.S. ET WILSON, B., 2012. *Stenella longirostris: The IUCN Red List of Threatened Species 2012: e.T20733A17837287* [en ligne]. 1 juillet 2008. pp. 1-12. [Consulté le 18 août 2022]. Disponible à l'adresse : <http://www.iucnredlist.org/details/20733/0>.
- BEJDER L., SAMUEL A., WHITEHEAD, H. et GALES, N., 2006. Interpreting short-term behavioural responses to disturbance within a longitudinal perspective. *Animal Behaviour*. 2006. n° 72, pp. 1149-1158.
- BENOIT-BIRD, K.J., 2004. Prey caloric value and predator energy needs: foraging predictions for wild spinner dolphins. *Marine Biology* [en ligne]. Septembre 2004. Vol. 145, n° 3 pp. 435-444. [Consulté le 18 août 2022]. DOI 10.1007/s00227-004-1339-1.
- BENOIT-BIRD, Kelly J et AU, Whitlow W.L, 2003a. Spatial dynamics of a nearshore, micronekton sound-scattering layer. *ICES Journal of Marine Science*. Janvier 2003. Vol. 60, n° 4, pp. 899-913. DOI 10.1016/S1054-3139(03)00092-4.
- BENOIT-BIRD, Kelly J. et AU, Whitlow W. L., 2003b. Prey dynamics affect foraging by a pelagic predator (*Stenella longirostris*) over a range of spatial and temporal scales. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. Mai 2003. Vol. 53, n° 6, pp. 364-373. DOI 10.1007/s00265-003-0585-4.

- BENOIT-BIRD, Kelly J. et AU, Whitlow W. L., 2009. Phonation behavior of cooperatively foraging spinner dolphins. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Janvier 2009. Vol. 125, n° 1, pp. 539-546. DOI 10.1121/1.2967477.
- BERGESEN, Helge Ole, PARMANN, Georg et THOMMESSEN, Øystein B. (éd.), 2018. Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals (CMS). *Yearbook of International Cooperation on Environment and Development 1998–99* [en ligne]. 1. Routledge. pp. 154-155. [Consulté le 18 août 2022]. ISBN 978-1-315-06654-7. Disponible à l'adresse : <https://www.taylorfrancis.com/books/9781134055180/chapters/10.4324/9781315066547-40>.
- BICHELL, Lena Marie Vettters, KRZYSZCZYK, Ewa, PATTERSON, Eric M et MANN, Janet, 2018. The reliability of pigment pattern-based identification of wild bottlenose dolphins. *Marine Mammal Science*. Janvier 2018. Vol. 34, n° 1, pp. 113-124. DOI 10.1111/mms.12440.
- BRAULICK, G. et REEVES, R., 2018. *Stenella longirostris*. *The IUCN Red List of Threatened Species*. eT20733A50375784. DOI 10.2305/T20733A50375784.
- BROCK, P. M., HALL, A. J., GOODMAN, S. J., CRUZ, M. et ACEVEDO-WHITEHOUSE, K., 2013. Applying the tools of ecological immunology to conservation: a test case in the Galapagos sea lion: Ecological immunology in the Galapagos sea lion. *Animal Conservation*. Février 2013. Vol. 16, n° 1, pp. 19-31. DOI 10.1111/j.1469-1795.2012.00567.x.
- BURNHAM, Kenneth P. et ANDERSON, David R., 2004. Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. *Sociological Methods & Research*. Novembre 2004. Vol. 33, n° 2, pp. 261-304. DOI 10.1177/0049124104268644.
- CADENAT, J. et DOUTRE, M., 1959. Notes sur les Delphinidés Ouest-Africains. 5. Sur un *Prodelphinus* à long bec capturé au large des côtes du Sénégal *Prodelphinus longirostris* (Gray) 1828 ?. *Bulletin de l'Institut Français d'Afrique Noire. Série A : Sciences Naturelles*. Avril 1959. Vol. 21, n°2, pp. 787-792. Disponible à l'adresse : <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:32102>.
- CALDWELL, M. C., CALDWELL, D. K. et TYACK, P.L., 1990. Review of the Signature-Whistle Hypothesis for the Atlantic Bottlenose Dolphin. *The Bottlenose Dolphin*. Ed S. Leatherwood and R. R. Reeves, San Diego: Academic Press, pp. 199-234
- CALDWELL, M. C., et CALDWELL, D. K., 1967. Intraspecific transfer of information via the pulsed sound in captive Odontocete Cetaceans. *Animal Sonar Systems: Biology and Bionics*. Ed. Busnel. pp. 879–936.

- CHAZOT, J., HOARAU, L., CARZON, P., WAGNER, J., SORBY, S., RATEL, M. et BARCELO, A., 2020. Recommendations for Sustainable Cetacean-Based Tourism in French Territories: A Review on the Industry and Current Management Actions. *Tourism in Marine Environment*. 2020. n°15, pp. 211–235.
- CHOQUET, Rémi, LEBRETON, Jean-Dominique, GIMENEZ, Olivier, REBOULET, Anne-Marie et PRADEL, Roger, 2009. U-CARE: Utilities for performing goodness of fit tests and manipulating CAPture–REcapture data. *Ecography*. Décembre 2009. Vol. 32, n° 6, pp. 1071-1074. DOI 10.1111/j.1600-0587.2009.05968.x.
- CHOQUET, Rémi, LEBRETON, Jean-Dominique, GIMENEZ, Olivier, REBOULET, Anne-Marie et PRADEL, Roger, 2020. *U-CARE 3.3 User's Manual*. CEFE, Montpellier, France.
- CHRISTIANSEN, Fredrik, LUSSEAU, David, STENSLAND, Eva et BERGGREN, Per, 2010. Effects of tourist boats on the behaviour of Indo-Pacific bottlenose dolphins off the south coast of Zanzibar. *Endangered Species Research*. 17 mars 2010. Vol. 11, pp. 91-99. DOI 10.3354/esr00265.
- CHRISTIANSEN, Fredrik, RASMUSSEN, Marianne H. et LUSSEAU, David, 2013. Inferring activity budgets in wild animals to estimate the consequences of disturbances. *Behavioral Ecology*. 1 novembre 2013. Vol. 24, n° 6, pp. 1415-1425. DOI 10.1093/beheco/art086.
- CLARO, F. et HUBERT, P., 2011. Impact of marine debris on sea turtles in Mainland France and its overseas territories. *Groupe Tortues Marines France-Service du Patrimoine Naturel, Muséum National d'Histoire Naturelle*. Février 2011. pp. 1-60. Disponible à l'adresse : http://gtmf.mnhn.fr/wp-content/uploads/sites/13/2015/08/marine-debris-sea-turtles-in-France_def_ph.pdf [Consulté le 18 août 2022].
- COCKROFT, V. G., 1990. Dolphin catches in the Natal shark nets, 1980 to 1988. *South African Journal of Wildlife Research*. 1990. Vol. 20, n° 2, pp. 44-51.
- CONAND, François, MARSAC, Francis, TESSIER, Emmanuel et CONAND, Chantal, 2007. A Ten-year Period of Daily Sea Surface Temperature at a Coastal Station in Reunion Island, Indian Ocean (July 1993 – April 2004): Patterns of Variability and Biological Responses. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science* [en ligne]. 26 novembre 2009. Vol. 6, n° 1. DOI 10.4314/wiojms.v6i1.48222.
- CONDET, Manon et DULAU-DROUOT, Violaine, 2016. Habitat selection of two island-associated dolphin species from the south-west Indian Ocean. *Continental Shelf Research*. Août 2016. Vol. 125, pp. 18-27. DOI 10.1016/j.csr.2016.06.010.
- CONSTANTINE, Rochelle, 2002. The Behavioural Ecology of the Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) of Northeastern New Zealand: A Population Exposed to Tourism. Thèse de doctorat en Biologie. Auckland : Université d'Auckland, 233 pp.

- CORDIER, Emmanuel, 2007. Dynamique hydrosédimentaire du récif frangeant de l'Hermitage / La Saline (La Réunion) : processus physiques et flux sédimentaires. Thèse de doctorat en Océanographie physique - Sédimentologie. La Réunion : Université de La Réunion, 209 pp.
- COTTAREL, Guillaume, DULAU, Violaine, MOUYSSSET, Laurent, MARTIN, Julie, PHILIPPE et Jean-Sébastien, 2018. Plan directeur de Conservation en faveur des populations de dauphins fréquentant les eaux côtières réunionnaises (2018-2023). *Ministère de la Transition écologique et solidaire, Direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement de la Réunion. GLOBICE, BIOTOPE*. 150 pp.
- CRIBB, Nardi, MILLER, Cara et SEURONT, Laurent, 2008. Assessment of bottlenose dolphin (*Tursiops aduncus*) habitat characteristics in the estuarine waters of the Adelaide Dolphin Sanctuary, South Australia. *Journal of Marine Animals and Their Ecology*. 2008. Vol. 1, n°1, pp. 4.
- DANS, Silvana L., CRESPO, Enrique A., PEDRAZA, Suzana N., DEGRATI, Mariana et GARAFFO, Griselda V., 2008. Dusky dolphin and tourist interaction: effect on diurnal feeding behavior. *Marine Ecology Progress Series*. 13 octobre 2008. Vol. 369, pp. 287-296. DOI 10.3354/meps07629.
- DE BOER, M.N., BALDWIN, R., BURTON, C.L.K., EYRE, E.L., JENNER, K.C.S. et JENNER, M.N.M., 2002. Cetaceans in the Indian Ocean sanctuary: a review. *Document SC/54/O5. Scientific Committee of the International Whaling Commission*. Shimonoseki, Japan, 26 avril-10 mai 2002.
- DIRTU, Alin C., MALARVANNAN, Govindan, DAS, Krishna, DULAU-DROUOT, Violaine, KISZKA, Jeremy J., LEPOINT, Gilles, MONGIN, Philippe et COVACI, Adrian, 2016. Contrasted accumulation patterns of persistent organic pollutants and mercury in sympatric tropical dolphins from the south-western Indian Ocean. *Environmental Research*. Avril 2016. Vol. 146, pp. 263-273. DOI 10.1016/j.envres.2016.01.006.
- DOLAR, M. L. L. 1994. Incidental takes of small cetaceans in fisheries in Palawan, Central Visayas and northern Mindanao in the Philippines. *International Whaling Commission Special Issue*. 1994. n° 15, pp. 355-363.
- DOLAR, M. Louella L., WALKER, William A., KOOYMAN, Gerald L. et PERRIN, William F., 2003. Comparative feeding ecology of Spinner Dolphins (*Stenella longirostris*) and Fraser's Dolphins (*Lagenodelphis hosei*) in the Sulu Sea. *Marine Mammal Science*. Janvier 2003. Vol. 19, n° 1, pp. 1-19. DOI 10.1111/j.1748-7692.2003.tb01089.x.
- DONAHUE, Meghan A et EDWARDS, Elizabeth F, 1996. An Annotated Bibliography of Available Literature regarding cetacean Interactions with Tuna Pure Seine Fisheries Outside of the eastern Tropical Pacific. *Southwest Fisheries Science Center Administrative Report*. Novembre 1996. 49 pp. Disponible à l'adresse : <http://hdl.handle.net/1834/908>. [Consulté le 18 août 2022]

- DUKAS, R. et CLARK, C.W., 1995. Searching for cryptic prey: a dynamic model. *Ecology*. 1995. n° 76, pp. 1320-1326.
- DULAU-DROUOT, Violaine, BOUCAUD, Virginie et ROTA, Bernard, 2008. Cetacean diversity off La Réunion Island (France). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. Septembre 2008. Vol. 88, n° 6, pp. 1263-1272. DOI 10.1017/S0025315408001069.
- DULAU, Violaine, ESTRADE, Vanessa et FAYAN, Jacques, 2017. Identifying key demographic parameters of a small island-associated population of Indo-Pacific bottlenose dolphins (Reunion, Indian Ocean). LI, Songhai (éd.), *PLOS ONE*. 22 juin 2017. Vol. 12, n° 6, pp. e0179780. DOI 10.1371/journal.pone.0179780.
- DWYER, Sarah L, 2014. Spatial ecology and conservation of cetaceans using the Hauraki Gulf, New Zealand. Thèse de doctorat en Ecologie marine. Nouvelle-Zélande : Université de Massey. pp. 276.
- EIERMAN, Laura E et CONNOR, Richard C, 2014. Foraging behavior, prey distribution, and microhabitat use by bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in a tropical atoll. *Marine Ecology Progress Series*. 29 avril 2014. Vol. 503, pp. 279-288. DOI 10.3354/meps10721.
- ELLISER, Cindy R., VAN DER LINDE, Krista et MACIVER, Katrina, 2022. Adapting photo-identification methods to study poorly marked cetaceans: a case study for common dolphins and harbor porpoises. *Mammalian Biology* [en ligne]. 5 avril 2022. [Consulté le 18 août 2022]. DOI 10.1007/s42991-021-00194-3.
- ELLISOR, D., MCLELLAN, W., KOOPMAN, H., SCHWACKE, L., MCFEE, W. et KUCKLICK, J., 2013. The distribution and stratification of persistent organic pollutants and fatty acids in bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) blubber. *Science Total Environent*. 2013. pp.463–464, 581–588
- ESTRADE, Vanessa et DULAU-DROUOT, Violaine, 2017. First Case of Spinner Dolphin (*Stenella longirostris*) Infanticide off Reunion Island: Necropsy's Findings and Post Mortem Inter-Species Interactions. *Oceanography & Fisheries Open access Journal* [en ligne]. 3 juillet 2017. Vol. 3, n° 3. [Consulté le 18 août 2022]. DOI 10.19080/OFOAJ.2017.03.555615.
- ESTRADE, Vanessa et DULAU, Violaine, 2020. Abundance and site fidelity of bottlenose dolphins off a remote oceanic island (Reunion Island, southwest Indian Ocean). *Marine Mammal Science*. Juillet 2020. Vol. 36, n° 3, pp. 871-896. DOI 10.1111/mms.12693.
- FITCH, J.E. et BROWNELL, R.L. Jr, 1968. Fish otoliths and their importance in interpreting feeding habits. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 1968. n° 25, pp. 2561–2574.

- FUMAGALLI, Maddalena, CESARIO, Amina, COSTA, Marina, HARRAWAY, John, NOTARBARTOLO DI SCIARA, Giuseppe et SLOOTEN, Elisabeth, 2018. Behavioural responses of spinner dolphins to human interactions. *Royal Society Open Science*. Avril 2018. Vol. 5, n° 4, pp. 172044. DOI 10.1098/rsos.172044.
- GANNIER, Alexandre et PETIAU, Estelle, 2006. Environmental Variables Affecting the Residence of Spinner Dolphins (*Stenella longirostris*) in a Bay of Tahiti (French Polynesia). *Aquatic Mammals*. 1 juin 2006. Vol. 32, n° 2, pp. 202-211. DOI 10.1578/AM.32.2.2006.202.
- GERRODETTE, Tim et FORCADA, Jaume, 2005. Non-recovery of two spotted and spinner dolphin populations in the eastern tropical Pacific Ocean. *Marine Ecology Progress Series*. 28 avril 2005. Vol. 291, pp. 1-21. DOI 10.3354/meps291001.
- GLOBICE site web, 2020. Fiche pédagogique : comment distinguer dauphin long-bec et dauphin tacheté [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.globice.org/wp-content/uploads/2020/07/fiche-comparative-stenelle-scaled.jpg> [Consulté le 18 août 2022]
- GLOBICE site web, 2022. Projet Scan'R [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.globice.org/campagne/projet-scan-r/> [Consulté le 18 août 2022]
- GOVERNEMENT, 2022. Comité Interministériel de la mer (CIMer) [en ligne]. 1 juillet 2022. Disponible à l'adresse : <https://www.gouvernement.fr/comite-interministeriel-de-la-mer-cimer-sgmer> [Consulté le 18 août 2022]
- HAMMOND, P.S., MIZROCHAND, G.P., DONOVANE, S. 1990. Individual recognition of cetaceans: Use of photo-identification and other techniques to estimate population parameters. *International Whaling Commission*. n°12.
- HEENEHAN, Heather L., VAN PARIJS, Sofie M., BEJDER, Lars, TYNE, Julian A. et JOHNSTON, David W., 2017. Differential effects of human activity on Hawaiian spinner dolphins in their resting bays. *Global Ecology and Conservation*. Avril 2017. Vol. 10, pp. 60-69. DOI 10.1016/j.gecco.2017.02.003.
- HEITHAUS, Michael R. et DILL, Lawrence M., 2002. Food Availability And Tiger Shark Predation Risk Influence Bottlenose Dolphin Habitat Use. *Ecology*. Février 2002. Vol. 83, n° 2, pp. 480-491. DOI 10.1890/00129658(2002)083[0480:FAATSP]2.0.CO;2
- HERMANS, Aurélie et PISTORIUS, Pierre A., 2008. Marine mammal diversity in the remote waters of Aldabra Atoll, southern Seychelles. *Atoll Research Bulletin*. Novembre 2008. Vol. 564, pp. 1-7. DOI 10.5479/si.00775630.564.1.
- HOYT, Erich, 2001. Whale Watching 2001: Worldwide Tourism Numbers, Expenditures and Expanding Socioeconomic Benefits. *International Fund for Animal Welfare*. Janvier 2001. 158 pp. ISBN: 9781901002096

- HOYT, Erich, 1995. The worldwide value and extent of whale watching 1995. *Whale and Dolphin Conservation Society*. 25 mai 1995. pp. 36. ISBN 978-0-9519078-8-7.
- KAHN, B., 2004. Indonesia Oceanic Cetacean Program activity report: October-December 2003. *Apex Environmental - The Nature Conservancy SE Asia Center for Marine Protected Areas*. 2004. 29 pp.
- KARCZMARSKI, Leszek, WÜRSIG, Bernd, GAILEY, Glenn, LARSON, Keith W. et VANDERLIP, Cynthia, 2005. Spinner dolphins in a remote Hawaiian atoll: social grouping and population structure. *Behavioral Ecology*. 1 juillet 2005. Vol. 16, n° 4, pp. 675-685. DOI 10.1093/beheco/ari028.
- KENDALL, William L., POLLOCK, Kenneth H. et BROWNIE, Cavell, 1995. A Likelihood-Based Approach to Capture-Recapture Estimation of Demographic Parameters under the Robust Design. *Biometrics*. Mars 1995. Vol. 51, n° 1, pp. 293-308. DOI 10.2307/2533335.
- KISZKA, J., ERSTS, P.J. et RIDOUX, V., 2010a. Structure of a toothed cetacean community around a tropical island (Mayotte, Mozambique Channel). *African Journal of Marine Science*. 27 décembre 2010. Vol. 32, n° 3, pp. 543-551. DOI 10.2989/1814232X.2010.538145.
- KISZKA, J., VELY, M.A. et BREYSSE, O., 2010b. Preliminary account of cetacean diversity and humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) group characteristics around the Union of the Comoros (Mozambique Channel). *Mammalia*. Mars 2010. Vol. 74, pp. 51-56. DOI 10.1515/MAMM.2010.003
- KISZKA, Jeremy, MUIR, Catharine, POONIAN, Chris, COX, Tara M, AMIR, Omar A, RAZAFINDRAKOTO, Yvette, WAMBITJI, Nina et BRISTOL, Nanet, 2009. Marine Mammal Bycatch in the Southwest Indian Ocean: Review and Need for a Comprehensive Status Assessment. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*. 2009. Vol.7, n°2, pp. 119-136.
- LAMMERS, Marc O., 2004. Occurrence and Behavior of Hawaiian Spinner Dolphins (*Stenella longirostris*) Along Oahu's Leeward and South Shores. *Aquatic Mammals*. 1 septembre 2004. Vol. 30, n° 2, pp. 237-250. DOI 10.1578/AM.30.2.2004.237.
- LAMMERS, Marc O., AU, Whitlow W. L. et HERZING, Denise L., 2003. The broadband social acoustic signaling behavior of spinner and spotted dolphins. *The Journal of the Acoustical Society of America*. Septembre 2003. Vol. 114, n° 3, pp. 1629-1639. DOI 10.1121/1.1596173.
- LAWSON, A. B., POLLOCK, K. H., NICHOLS, J. D., BROWNIE, C. et HINES, J. E., 1992. Statistical Inference for Capture-Recapture Experiments. *Biometrics*. juin 1992. Vol. 48, n° 2, pp. 656. DOI 10.2307/2532321.

- LEATHERWOOD, Stephen et REEVES, Randall R., 1989. Marine mammal research and conservation in Sri Lanka 1985-1986. *Marine Mammal Technical Report (United Nations Environment Programme)*. 1989. n° 1, 138 pp.
- LUSSEAU, David, 2003. Effects of Tour Boats on the Behavior of Bottlenose Dolphins: Using Markov Chains to Model Anthropogenic Impacts. *Conservation Biology*. Décembre 2003. Vol. 17, n° 6, pp. 1785-1793. DOI 10.1111/j.1523-1739.2003.00054.x.
- MACLEOD, Kelly, FAIRBAIRNS, Richard, GILL, Alison, FAIRBAIRNS, Brennan, GORDON, Jonathan, BLAIR-MYERS, Chris et PARSONS, Edward CM, 2004. Seasonal distribution of minke whales *Balaenoptera acutorostrata* in relation to physiography and prey off the Isle of Mull, Scotland. *Marine Ecology Progress Series*. 16 août 2004. Vol. 277, pp. 263-274. DOI 10.3354/meps277263.
- MANN, Janet, 1999. Behavioral Sampling Methods For Cetaceans: A Review And Critique. *Marine Mammal Science*. Janvier 1999. Vol. 15, n° 1, pp. 102-122. DOI 10.1111/j.1748-7692.1999.tb00784.x.
- MAY-COLLADO, L. J. QUIÑONES-LEBRON, S. G., BARRAGAN-BARRERA D. C., PALACIOS J. D., GAMBOAPOVEDA M., KASSAMALI-FOX A., 2015. The Bocas del Toro's dolphin watching industry relies on a small community of bottlenose dolphins: implications for management. *International Whaling Commission. Cambridge, UK*. 2015.
- MEAD, James G., ODELL, Daniel K., WELLS, Randall S. et SCOTT, Michael D., 1980. Observations on a mass stranding of spinner dolphins *Stenella longirostris*, from the west coast of Florida. *Fishery Bulletin*. Octobre 1980. Vol. 78, n° 2, pp. 353-360.
- MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT. Arrêté du 1er juillet 2011 fixant la liste des mammifères marins protégés sur le territoire national et les modalités de leur protection. Journal Officiel de la République Française. 26 juillet 2011. NOR : DEVL1110724A.
- MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE. Arrêté du 3 septembre 2020 portant sur l'arrêté du 1er juillet 2011 fixant la liste des mammifères marins protégés sur le territoire national et les modalités de leur protection. Journal Officiel de la République Française. 2 octobre 2020. NOR : DEVL1110724A.
- MOHAN, L.R.S., 1994. Review of gillnet fisheries and cetacean bycatches in the northeastern Indian Ocean. In: W. F. PERRIN, G. P. DONOVAN AND J. BARLOW. *Gillnets and Cetaceans: incorporating the proceedings of the symposium and workshop on the mortality of cetaceans in passive fishing nets and traps*, pp. 329-343. International Whaling Commission, Cambridge, UK.

- MONTAGGIONI, L. et FAURE G., 1980. Les récifs coralliens des Mascareignes (Océan Indien). *Collection des Travaux du Centre Universitaire*. Université française de l'Océan indien, 151p.
- MYRCK Jr., Albert C., HOHN, Aleta A., SLOAN, Priscilla A., KIMURA, Makoto; STANLEY, Drew D., 1983. Estimating age of spotted and spinner dolphins (*Stenella attenuata* and *Stenella longirostris*) from teeth. *NOAA Technical Memorandum NMFS*. Avril 1983. pp. 1-17. Disponible à l'adresse : <http://hdl.handle.net/1834/20263> [Consulté le 18 août 2022]
- NORRIS, Kenneth S., WÜRSIG, Bernd, WELLS, Randall S., WÜRSIG, Melany, BROWNLEE, Shannon M., JOHNSON, Christine, SOLOW, Jody, WARDRIP, Jenny, 1994. *The Hawaiian Spinner Dolphin*. Ed 1. Berkeley, CA: University of California Press, 436 pp. ISBN: 9780520082083.
- NOTARBARTOLO-DI-SCIARA, G., HANAFY, M.H., FOUUDA, M.M., AFIFI, A. et COSTA, M., 2008. Spinner dolphin (*Stenella longirostris*) resting habitat in Samadai Reef (Egypt, Red Sea) protected through tourism management. *Journal of Marine Biology Association*. Vol. 89, pp. 211-216.
- NOWACEK, Douglas P., THORNE, Lesley H., JOHNSTON, David W. et TYACK, Peter L., 2007. Responses of cetaceans to anthropogenic noise. *Mammal Review*. Avril 2007. Vol. 37, n° 2, pp. 81-115. DOI 10.1111/j.1365-2907.2007.00104.x.
- O'CONNOR, S., CAMPBELI, R., CORTEZ, H. et KNOWLES, T., 2009. Whale Watching Worldwide: Tourism Numbers, Expenditures And Expanding Economic Benefits - A Special Report From The International Fund For Animal Welfare. *International Fund for Animal Welfare*, Yarmouth MA, USA, 2009.
- OFTEDAL, Olav T, 1997. Lactation in Whales and Dolphins: Evidence of Divergence Between Baleen- and Toothed-Species. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*. 1997. Vol. 2, n° 3, pp. 205-230.
- ORAMS, Mark B., 1997. Historical accounts of human-dolphin interaction and recent developments in wild dolphin based tourism in Australasia. *Tourism Management*. 1997. Vol. 18, n° 5, pp. 317-326.
- OREMUS, Marc, POOLE, Michael M, STEEL, Debbie et BAKER, Scott C, 2007. Isolation and interchange among insular spinner dolphin communities in the South Pacific revealed by individual identification and genetic diversity. *Marine Ecology Progress Series*. 27 avril 2007. Vol. 336, pp. 275-289. DOI 10.3354/meps336275.
- OSTMAN, Jan Seven Olof, 1994. Social organization and social behavior of Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*). Thèse de doctorat en Biologie. Santa Crus : University of California, 114 p.

- OSWALD, Julie N., BARLOW, Jay et NORRIS, Thomas F., 2003. Acoustic Identification Of Nine Delphinid Species In The Eastern Tropical Pacific Ocean. *Marine Mammal Science*. Janvier 2003. Vol. 19, n° 1, pp. 20-37. DOI 10.1111/j.1748-7692.2003.tb01090.x.
- OTIS, David L, BURNHAM, Kenneth P, WHITE, Gary C et ANDERSON, David R, 2022. Statistical Inference from Capture Data on Closed Animal Populations. *Wildlife Monographs*. Octobre 1968. n° 62, pp. 3-35.
- PARVIN, S J, NEDWELL, J R et HARLAND, E, 2007. Lethal and physical injury of marine mammals, and requirements for Passive Acoustic Monitoring. *Subacoustech Ltd*. 2 février 2007. n° 565R0212. pp. 41.
- PERRIN, W.F. & GILPATRICK Jr., J.W., 1994. Spinner dolphin *Stenella longirostris* (Gray, 1828). In : RIDWAY, S.H. et HARRISON, R. *Handbook of marine mammals*. London: Academic Press, pp 99 -128.
- PERRIN, William F. et MESNICK, Sarah L., 2003. Sexual Ecology Of The Spinner Dolphin, *Stenella longirostris*: Geographic Variation In Mating System. *Marine Mammal Science*. Juillet 2003. Vol. 19, n° 3, pp. 462-483. DOI 10.1111/j.1748-7692.2003.tb01315.x.
- PERRIN, William F., 1990. Subspecies of *Stenella longirostris* (Mammalia: Cetacea: Delphinidae). *Proceedings of the Biological Society of Washington*. Vol. 103, pp. 453-463.
- PERRIN, William F., 1998. *Stenella longirostris*. *Mammalian Species*. 4 décembre 1998. n° 599, pp. 1-7.
- PERRIN, William F., HOLTS, David B. et MILLER, Ruth B., 1977. Growth and reproduction of the eastern spinner dolphin, a geographical form of *Stenella longirostris* in the eastern tropical Pacific. *Fishery Bulletin*. Février 1977. Vol. 75, n° 4, pp. 725-750.
- POLLOCK, Kenneth H., 1982. A Capture-Recapture Design Robust to Unequal Probability of Capture. *The Journal of Wildlife Management*. Juillet 1982. Vol. 46, n° 3, pp. 752. DOI 10.2307/3808568.
- POLLOCK, Kenneth H., NICHOLS, James D., BROWNIE, Cavell, HINES, James E., 1990. Statistical Inference for Capture-Recapture Experiments. *Wildlife Monographs*. Janvier 1990. n° 107, pp. 3-97. Disponible à l'adresse : <https://www.jstor.org/stable/3830560>. [Consulté le 18 août 2022]
- POOLE, Maurice Michel, 1995. Aspects of behavioral ecology of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) in the nearshore waters of Mo'orea, French Polynesia. Thèse de doctorat en Biologie Marine. Santa Cruz : University of California. 177 p.

- PRACA, E. et GANNIER, A., 2008. Ecological niches of three teuthophageous odontocetes in the northwestern Mediterranean Sea. *Ocean Science*. 7 février 2008. Vol. 4, n° 1, pp. 49-59. DOI 10.5194/os-4-49-2008.
- PUSINERI, C., KISZKA, J., BARBRAUD, J.C. et RIDOUX, V., 2009. Abundance of marine mammals around the island of Mayotte. *Rapport de ONCFS (French Wildlife Service) à la Collectivité Départementale de Mayotte*.
- QUIET OCEANS, 2012. Chapitre 5 : Prédiction des risques vis-à-vis des mammifères marins. *Étude d'impact du champ acoustique généré par la construction de la Nouvelle Route du Littoral, La Réunion, France*. QO.RAP.20111205.01.001.
- QUINTANAMARTÍN-MONTALVO, Belén, HOARAU, Ludovic, DEFFES, Ophélie, DELASPRE, Sylvain, DELFOUR, Fabienne LANDES, Anne-Emmanuelle. Dolphin Watching and Compliance to Guidelines Affect Spinner Dolphins' (*Stenella longirostris*) Behaviour in Reunion Island. *Animals*. 12 septembre 2021. Vol. 11, n° 2674. DOI 10.3390/11092674.
- RALLS, Katherine, 1977. Sexual Dimorphism in Mammals: Avian Models and Unanswered Questions. *The American Naturalist*. Septembre 1977. Vol. 111, n° 981, pp. 917-938. DOI 10.1086/283223.
- RAZAFINDRAKOTO, Yvette, ANDRIANARIVELO, Norbert et ROSENBAUM, Howard, 2004. Sightings, catches, and other records of Indo-Pacific humpback dolphins in the coastal waters of Madagascar. *Aquatic Mammals*. 2004. Vol. 30, n° 1, pp. 103- 110.
- RAZAFINDRAKOTO, Yvette, ANDRIANARIVELO, Norbert, CERCHIO, Salvatore, RASOAMANANTO, Ines et ROSENBAUM, Howard, 2009. Preliminary Assessment of Cetacean Incidental Mortality in Artisanal Fisheries in Anakao, Southwestern Region of Madagascar. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science* [en ligne]. 4 décembre 2009. Vol. 7, n° 2. [Consulté le 18 août 2022]. DOI 10.4314/wiojms.v7i2.48275.
- REILLY, Stephen B, 1990. Seasonal changes in distribution and habitat differences among dolphins in the eastern tropical Pacific. *Marine Ecology Progress Series*. 6 septembre 1990. Vol. 66, pp. 1-11. DOI 10.3354/meps066001.
- REILLY, Stephen B., DONAGHUE, Meghan A., GERRODETTE, Timothy, FORNEY, Karin, WADE, Paul, BALLANCE, Lisa, FIEDLER, Paul, DIZON, Andrew, PERRYMAN, Wayne, ARCHER, Frederick A. et EDWARDS, E.lizabeth F., 2005. Report of the scientific research program under the International Dolphin Conservation Program Act. NOAA Tech. *NOAA Technical Memorandum NMFS*. Mars 2005. 100 pp. Disponible à l'adresse : <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/3479> . [Consulté le 18 août 2022]
- RICHARDSON, W.J., GREENE Jr, C.R., MALME, C.I. et THOMSON, D.H., 1995. *Marine mammals and noise*. San Diego: Academic Press. 576 p.

- ROBERT, René, SOULERES, Olivier, 1991. Présentation De L'île De La Réunion. *Bois et Forêts des Tropiques*. 1991. n° 229, pp. 9-14.
- ROSENBAUM, H.C., 2003. Marine mammals of Madagascar. GOODMAN, S. et BENGSTON, J. *The natural history of Madagascar*. Chicago: University of Chicago Press. pp. 213–216.
- SANDRON, Frédéric, ANDRIAMARO, Frédérique, ANDRIANANTOANDRO, Tantely, FAULET, Alexandre, GANNON, Frédéric, MOUYSSET, Laurent, MUÑOZ FORERO, Paola Andrea, RAKOTOHARIMALALA, Sophia, RASOLOFOMANANA Rojo et SAISHO Moeha, 2015. Analyse socio-économique du *whale-watching* à Madagascar et La Réunion. *FEDER Biodiversité*. Juin 2015. 182 p.
- SCHOTTEN, M., AU, W.W.L., LAMMERS, M.O. et AUBAUER, R., 2004. Echolocation recordings and localizations of wild spinner dolphins (*Stenella longirostris*) and pantropical spotted dolphins (*Stenella attenuata*) using a four-hydrophone array. THOMAS, J.A., MOSS, C., VATER, M. *Echolocation in bats and dolphins*. Chicago: University of Chicago Press.
- SEBER, G. A. F, 1982. *The Estimation of Animal Abundance and Related Parameters*. 2 ed. New York, USA : MacMillan.
- SEBER, G. A. F., 1992. A Review of Estimating Animal Abundance II. *International Statistical Review / Revue Internationale de Statistique*. Août 1992. Vol. 60, n° 2, pp. 129. DOI 10.2307/1403646.
- SHAWKY, Ahmed, ALWANY, Magdy, ZAKARIA, Saad et EL-ETREBY, Salah, 2015. Estimation of the abundance of the spinner dolphin *Stenella longirostris* using photo identification technique in Samadai Reef, Red Sea, Egypt. *Catrina : The International Journal of Environmental Sciences*. 1 janvier 2015. Vol. 10, n° 1, pp. 27-39. DOI 10.12816/0010696.
- SHIRIHAI, Hadoram et JARRETT, Brett, 2020. *Mammifères marins du monde*. Paris: Delachaux. 384 pp. ISBN 9782603027660.
- SILVA Jr., José Martins, SILVA Flávio José de Lima et PEREIRA, J. A., 1996. O comportamento do golfinho rotador em F. de Noronha. *Encontro Anual de Etologia*. 1994. Vol. 14, pp. 251-262.
- SILVA Jr., José Martins, SILVA, Flávio J.L et SAZIMA, Ivan, 2005. Rest, nurture, sex, release, and play: diurnal underwater behaviour of the spinner dolphin at Fernando de Noronha Archipelago, SW Atlantic. *Aqua: Journal of Ichthyology and Aquatic Biology*. 2005. Vol. 9, n° 4, pp. 161-176.
- SILVA, Flávio José De Lima et SILVA Jr., José Martins, 2009. Circadian and seasonal rhythms in the behavior of spinner dolphins (*Stenella longirostris*). *Marine Mammal Science*. Janvier 2009. Vol. 25, n° 1, pp. 176-186. DOI 10.1111/j.1748-7692.2008.00238.x.

- SLOOTEN, Elisabeth, DAWSON, Stephen M. et LAD, Frank, 1992. Survival Rates Of Photographically Identified Hector's Dolphins From 1984 To 1988. *Marine Mammal Science*. Octobre 1992. Vol. 8, n° 4, pp. 327-343. DOI 10.1111/j.1748-7692.1992.tb00049.x.
- SOLER O., 1997. *Atlas climatique de La Réunion*. La Réunion : Météo France. 80 pp.
- STACK, Stephanie H., OLSON, Grace L., NEAMTU, Valentin, MACHERNIS, Abigail F., BAIRD, Robin W. et CURRIE, Jens J., 2020. Identifying spinner dolphin *Stenella longirostris longirostris* movement and behavioral patterns to inform conservation strategies in Maui Nui, Hawai'i. *Marine Ecology Progress Series*. 25 juin 2020. Vol. 644, pp. 187-197. DOI 10.3354/meps13347.
- STANLEY, Thomas R. et BURNHAM, Kenneth P., 1999. A closure test for time-specific capture-recapture data. *Environmental & Ecological Statistics*. 1999. n° 6, pp. 197-209.
- STOCKIN, Karen A., PIERCE, Graham J., BINEDELL, Vicky, WISEMAN, Nicky et ORAMS, Mark B., 2008. Factors Affecting the Occurrence and Demographics of Common Dolphins (*Delphinus sp.*) in the Hauraki Gulf, New Zealand. *Aquatic Mammals*. 1 juin 2008. Vol. 34, n° 2, pp. 200-211. DOI 10.1578/AM.34.2.2008.200.
- SUGIURA, Nariaki, 1978. Further analysts of the data by akaike's information criterion and the finite corrections. *Communications in Statistics - Theory and Methods*. Vol. 7, n° 1, pp.13-26. DOI 10.1080/03610927808827599.
- SWART, Rik de L., ROSS, Peter S., VEDDER, Lies J., TIMMERMAN, Helga H., HEISTERKAMP, Siem, LOVEREN, Henk Van, VOS, Joseph G et REIJNDERS, Peter J.H., 1994. Impairment of Immune Function in Harbor Seals (*Phoca vitulina*) Feeding on Fish from Polluted Waters. *Ambio*. March 1994. Vol. 23, n° 2, pp. 155-159.
- TALPALAR, Adolfo E. et GROSSMAN, Yoram, 2005. Sonar versus Whales: Noise may disrupt neural activity in deep-diving cetaceans. *Journal of the Undersea and Hyperbaric Medical Society*. Mars 2005. Vol. 32, n° 2, pp. 135-139.
- TESSIER, Emmanuel, 2005. Dynamique des peuplements ichthyologiques associés aux récifs artificiels à l'île de la Réunion (Ouest de l'océan Indien) - Implication dans la gestion des pêcheries côtières. Thèse de doctorat en Ecologie Marine. La Réunion : Université de la Réunion. pp. 255.
- THORNE, Lesley H., JOHNSTON, David W., URBAN, Dean L., TYNE, Julian, BEJDER, Lars, BAIRD, Robin W., YIN, Suzanne, RICKARDS, Susan H., DEAKOS, Mark H., MOBLEY, Joseph R., PACK, Adam A. et CHAPLA HILL, Marie, 2012. Predictive Modeling of Spinner Dolphin (*Stenella longirostris*) Resting Habitat in the Main Hawaiian Islands. *PLoS ONE*. 24 août 2012. Vol. 7, n° 8, e43167, pp.1-14. DOI 10.1371/journal.pone.0043167.

- TYNE, Julian A., CHRISTIANSEN, Fredrik, HEENEHAN, Heather L., JOHNSTON, David W. et BEJDER, Lars, 2018. Chronic exposure of Hawaii Island spinner dolphins (*Stenella longirostris*) to human activities. *Royal Society Open Science*. Octobre 2018. Vol. 5, n° 10, e71506, pp.15. DOI 10.1098/rsos.171506.
- TYNE, Julian A., JOHNSTON, David W., RANKIN, Robert, LONERAGAN, Neil R. et BEJDER, Lars, 2015. The importance of spinner dolphin (*Stenella longirostris*) resting habitat : implications for management. *Journal of Applied Ecology*. Juin 2015. Vol. 52, n° 3, pp. 621-630. DOI 10.1111/1365-2664.12434.
- TYNE, Julian A., POLLOCK, Kenneth H., JOHNSTON, David W. et BEJDER, Lars, 2014. Abundance and Survival Rates of the Hawai'i Island Associated Spinner Dolphin (*Stenella longirostris*) Stock. *PLoS ONE*. 22 janvier 2014. Vol. 9, n° 1, e86132, pp. 1-10. DOI 10.1371/journal.pone.0086132.
- VIRICEL, Amélia, SIMON-BOUHET, Benoit, CEYRAC, Laura, DULAU-DROUOT, Violaine, BERGGREN, Per, AMIR, Omar A., JIDDAWI, Narriman S., MONGIN, Philippe et KISZKA, Jeremy J., 2016. Habitat availability and geographic isolation as potential drivers of population structure in an oceanic dolphin in the Southwest Indian Ocean. *Marine Biology*. Octobre 2016. Vol. 163, n° 10, pp. 1-12. DOI 10.1007/s00227-016-2999-3.
- WADE, Paul R., WATTERS, George M., GERRODETTE, Tim et REILLY, Stephen B., 2007. Depletion of spotted and spinner dolphins in the eastern tropical Pacific: modeling hypotheses for their lack of recovery. *Marine Ecology Progress Series*. 7 août 2007. Vol. 343, pp. 1-14. DOI 10.3354/meps07069.
- WATWOOD, S.L., OWEN, E.C., TYACK, P. L. et WELLS, R. S., 2005. Signature whistle use by temporarily restrained and free-swimming bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. *Animal Behaviour*. Juin 2005. Vol. 69, n° 6, pp.1373-1386, 2005. DOI 10.1016/j.anbehav.2004.08.019.
- WEBSTER, Imogen, COCKCROFT, Vic G. et CADINOUCHE, Adele, 2015. Spinner dolphins *Stenella longirostris* off south-west Mauritius: abundance and residency. *African Journal of Marine Science*. 2 janvier 2015. Vol. 37, n° 1, pp.1-10. DOI 10.2989/1814232X.2015.1017004.
- WELLS R.S., TORNERO S., BORRELL A., AGUILAR A., ROWLES T.K., RHINEHART H.L., HOFMANN S., JARMAN W.M., HOHN A.A. et SWEENEY J.C., 2005. Integrating potential life history and reproductive success data to examine relationships with organochlorine compounds for bottlenose dolphins (*Tursiops Truncatus*) in Sarasota bay, Florida. *Science of the Total Environment*. 2005. Vol. 349, pp. 106-119.
- WILLIAMS, Byron K., NICHOLS, James D. et CONROY, Michael J., 2002. *Analysis And Management Of Animal Populations: Modeling, Estimation, And Decision Making*. Éd 1. New York : Academic Press. ISBN: 9780080574721

- WILLIAMS, J. A., DAWSON, S. M. et SLOOTEN, E., 1993. The abundance and distribution of bottlenosed dolphins (*Tursiops truncatus*) in Doubtful Sound, New Zealand. *Canadian Journal of Zoology*. 1993. Vol. 71, pp. 2080-2088.
- WILSON, Ben, HAMMOND, Philip S. et THOMPSON, Paul M., 1999. Estimating size and assessing trends in a coastal Bottlenose dolphin population. *Ecological Applications*. Février 1999. Vol. 9, n° 1, pp. 288-300. DOI 10.1890/1051-0761(1999)009[0288:ESAATI]2.0.CO;2.
- WÜRSIG B. et WÜRSIG M., 1977. The photographic determination of group size, composition, and stability of coastal porpoises (*Tursiops truncatus*). *Science*. 18 novembre 1977. Vol. 198, n° 198, pp. 755–756. DOI 10.1126/science.198.4318.755.
- ZEPPEL, H. et MULOIN, S., 2008. Conservation Benefits of Interpretation on Marine Wildlife Tours. *Human Dimensions of Wildlife*. 2008, n°13, pp. 280–294.

ANNEXES

Annexe 1 : Physionomie comparative de *S. longirostris* et *S. attenuata*

	Dauphin long bec (<i>Stenella longirostris</i>)	Dauphin tacheté pantropical (<i>Stenella attenuata</i>)
Poids	55-80 kg	90-115 kg
Taille	1,3-2,3 m	1,7-2,6 m
Couleur	Tricolore avec ligne sombre de l'œil à la pectorale	Bicolore avec de petites tâches
Dorsale	Triangulaire	Falciforme
Saut vrillé	Oui	Non
Rostre	Long	Moins long
Groupes	Dizaines à centaines d'individus	
Habitat préférentiel	Côtes (40-70m de profondeur) le matin Inconnu l'après-midi	Plus au large (200m de profondeur)
Photographies (Source : Globice)	 	 

Annexe 1 : Physionomie comparative de *S. longirostris* et *S. attenuata*

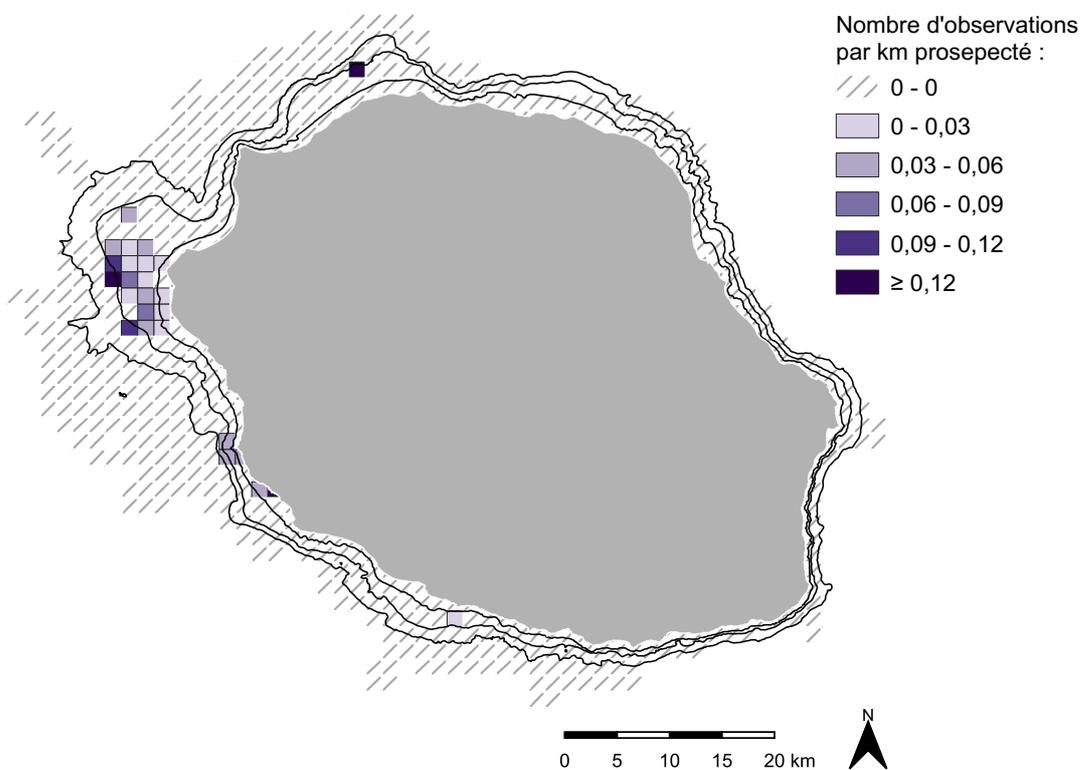
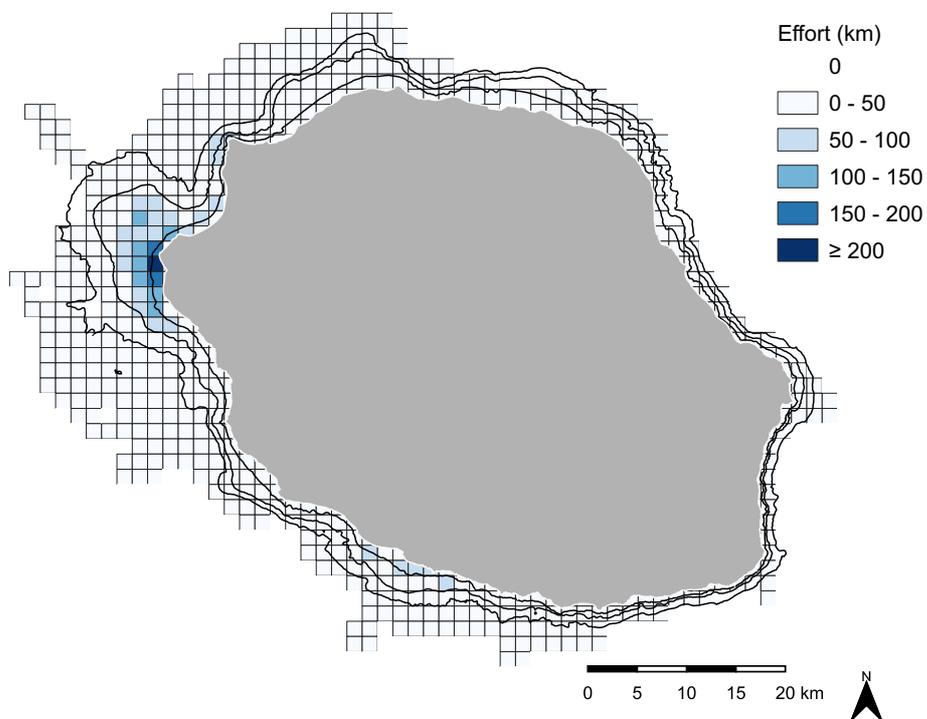
Annexe 2 : Résultats des 20 premiers modèles du *Robust Design* classés par ordre croissant d'AIC

Modèle	AICc	Delta AICc	Probabilité du modèle	Nombre de paramètres
{S(.), gamma"(.), gamma'(T), p(t, T), c(t, T)}	1644,8948	0	1	82
{S(.), gamma"(.), gamma'(.), p(t, T), c(t, T)}	1648,8776	3,9828	0,1365	81
{S(.), gamma"(T), gamma'(T), p(t, T), c(t, T)}	1649,7766	4,8818	0,0871	86
{S(.), gamma"(T), gamma'(.), p(t, T), c(t, T)}	1650,39	5,4952	0,0641	86
{S(T), gamma"(.), gamma'(T), p(t, T), c(t, T)}	1651,0259	6,1311	0,0466	88
{S(.), gamma"(.), gamma'(T), p(T), c(t, T)}	1651,3651	6,4703	0,0393	49
{S(T), gamma"(T), gamma'(T), p(t, T), c(t, T)}	1653,5455	8,6507	0,0132	91
{S(T), gamma"(T), gamma'(T), p(T), c(t, T)}	1655,4384	10,5436	0,0051	57
{S(.), gamma"(T), gamma'(T), p(T), c(t, T)}	1656,1463	11,2515	0,0036	55
{S(.), gamma"(.), gamma'(.), p(T), c(t, T)}	1656,721	11,8262	0,0027	48
{S(T), gamma"(.), gamma'(T), p(T), c(t, T)}	1658,1361	13,2413	0,0013	56
{S(T), gamma"(T), gamma'(.), p(t, T), c(t, T)}	1660,99	16,0952	0,0003	91
{S(.), gamma"(T), gamma'(.), p(T), c(t, T)}	1662,2206	17,3258	0,0002	54
{S(T), gamma"(.), gamma'(.), p(T), c(t, T)}	1662,3984	17,5036	0,0002	55
{S(T), gamma"(T), gamma'(.), p(T), c(t, T)}	1673,1894	28,2946	0	60
{S(.), gamma"(T), gamma'(.), p(.), c(t, T)}	1680,8252	35,9304	0	45
{S(.), gamma"(.), gamma'(.), p(.), c(t, T)}	1683,8729	38,9781	0	40
{S(T), gamma"(.), gamma'(.), p(.), c(t, T)}	1685,4157	40,5209	0	47
{S(T), gamma"(T), gamma'(T), p(.), c(t, T)}	1685,5271	40,6323	0	54
{S(T), gamma"(T), gamma'(.), p(.), c(t, T)}	1686,5351	41,6403	0	52

Annexe 2 : Résultats des 20 premiers modèles du *Robust Design* classés par ordre croissant d'AIC

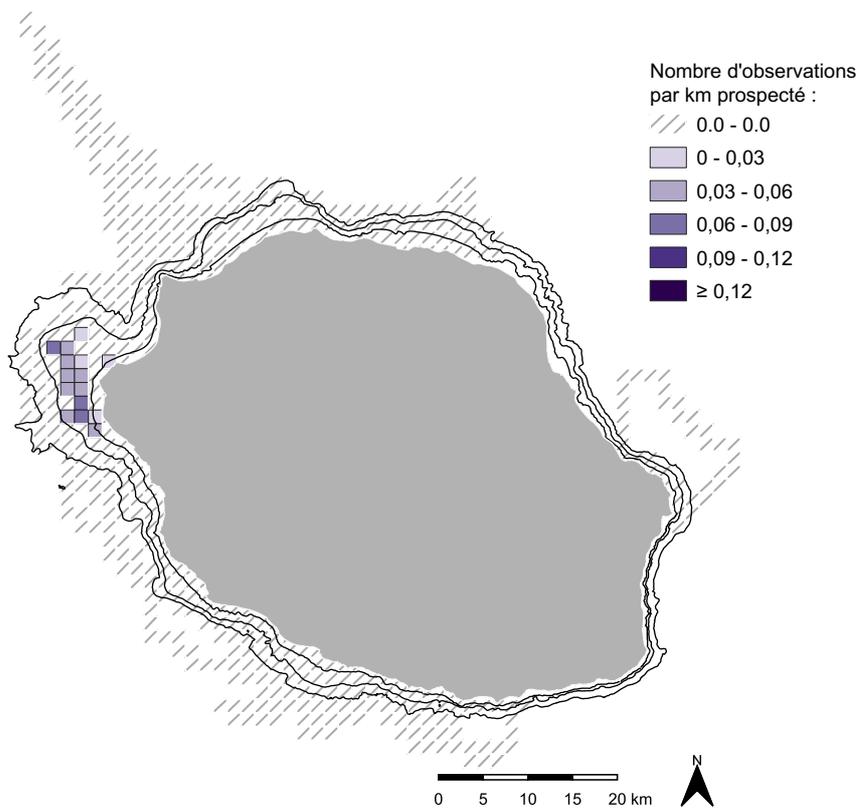
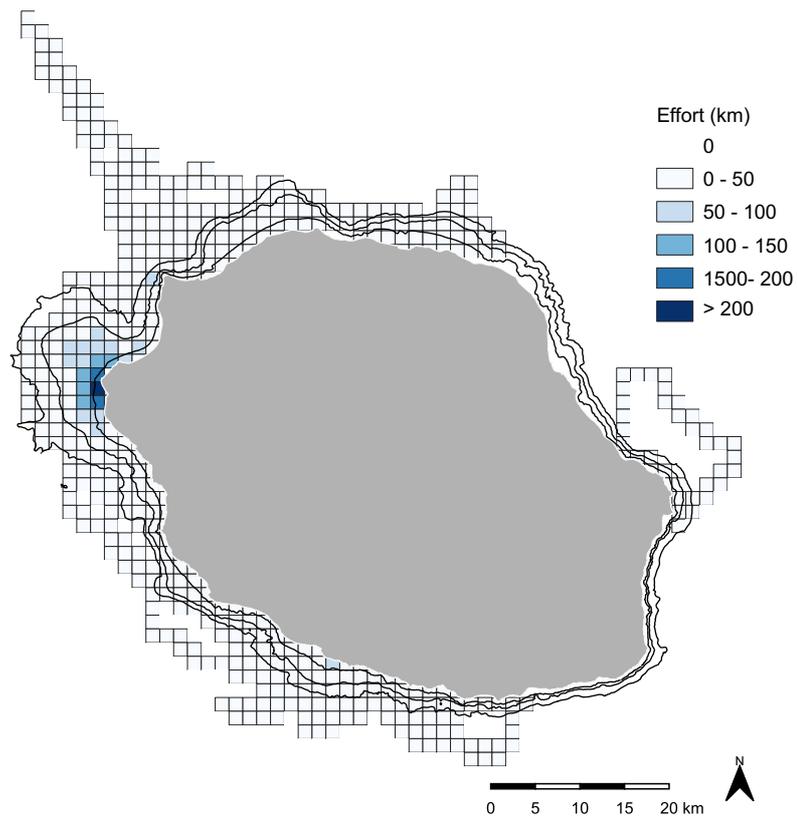
Annexe 3 : Cartographies de l'effort et des fréquences d'observations par année

• Année 2013



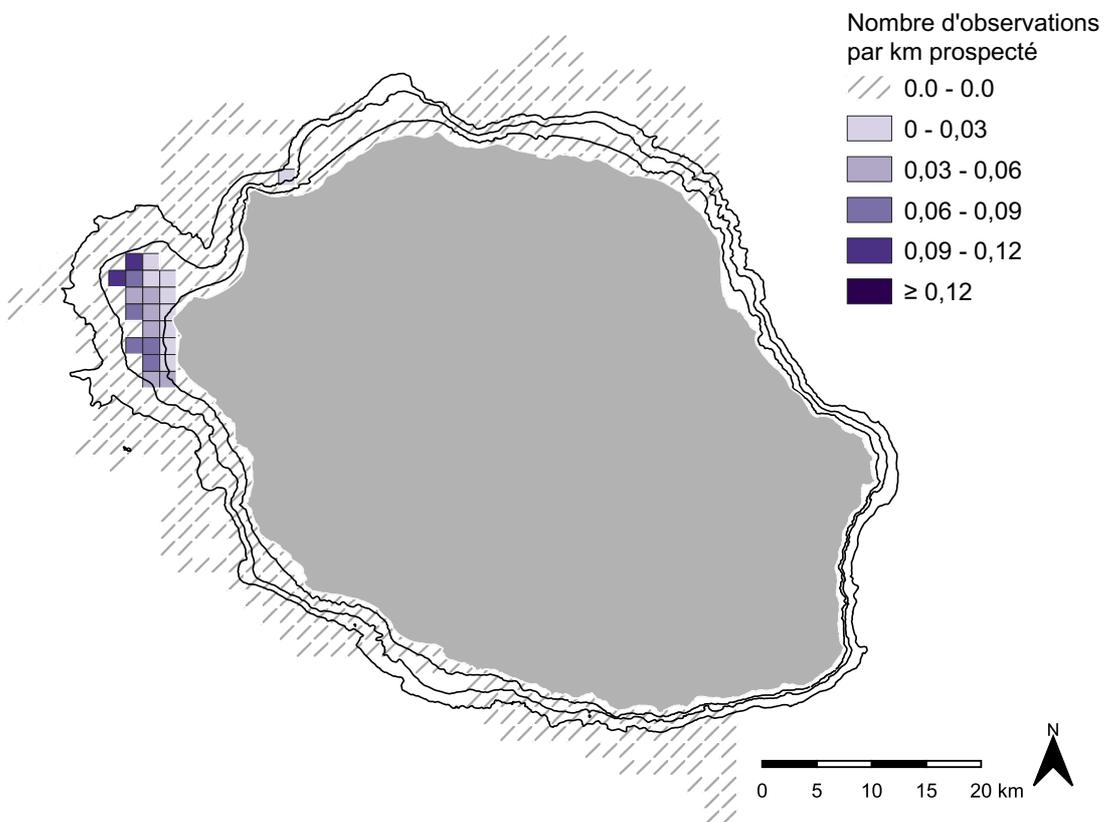
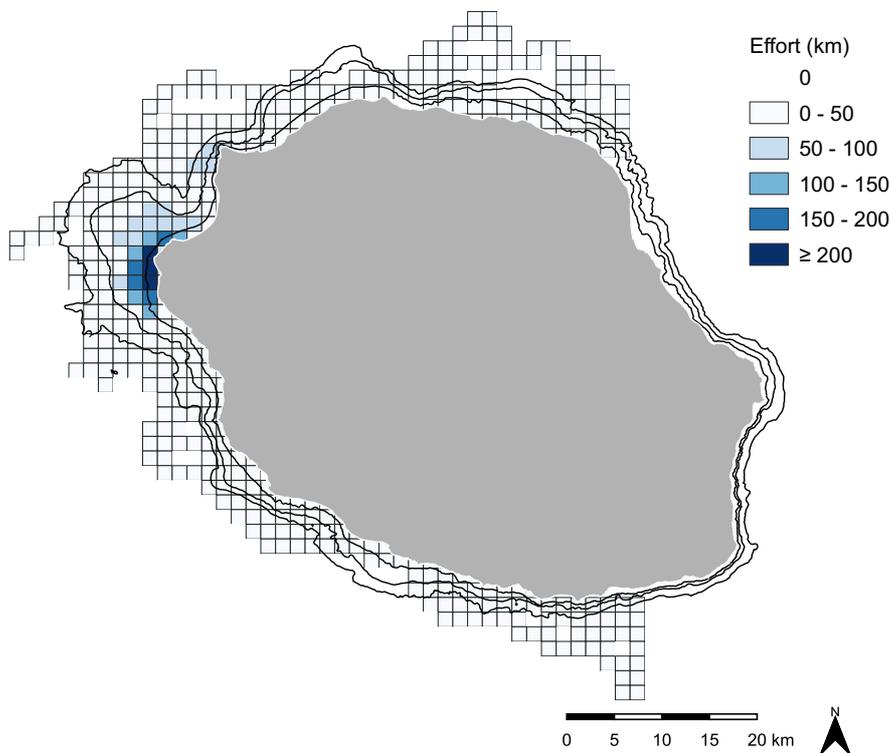
Annexe 3 : Cartographies de l'effort et des fréquences d'observations par année : année 2013

• Année 2014



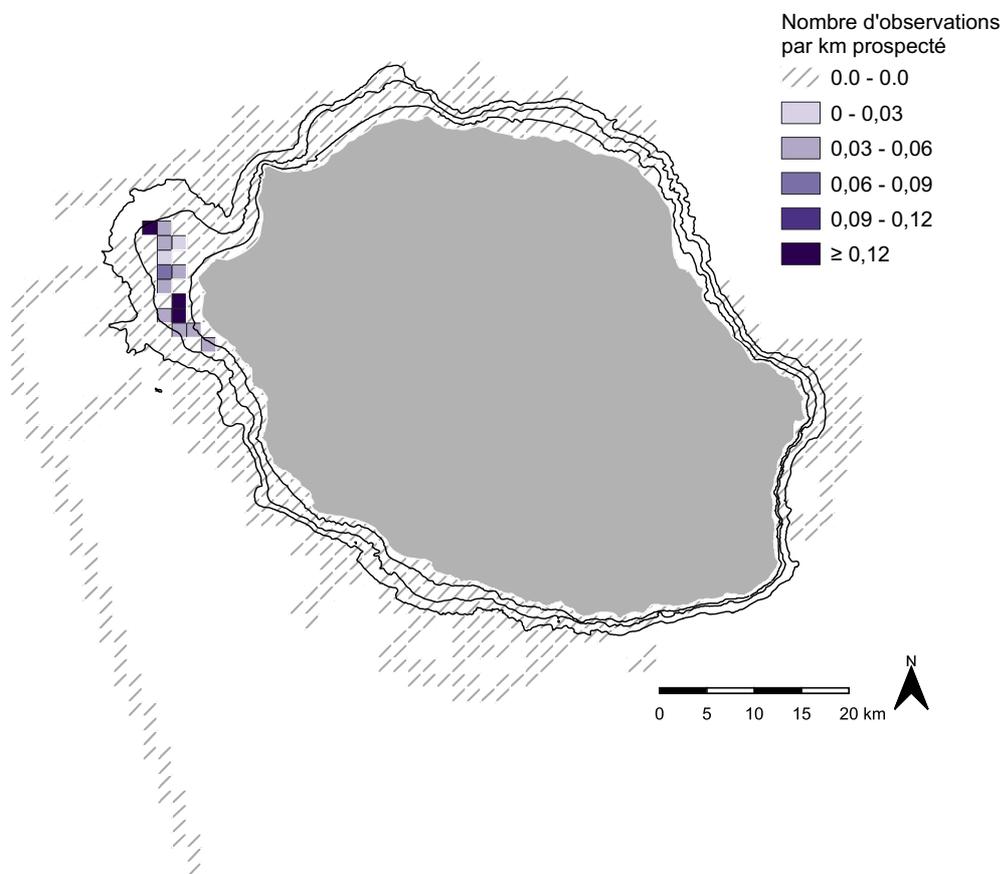
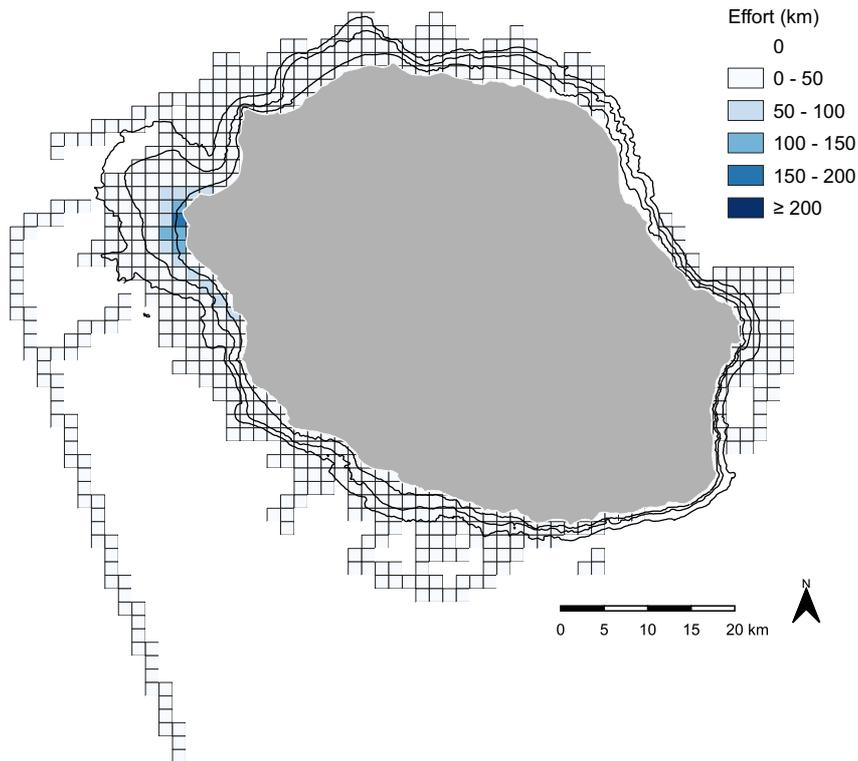
Annexe 3 : Cartographies de l'effort et des fréquences d'observations par année : année 2014

• Année 2015



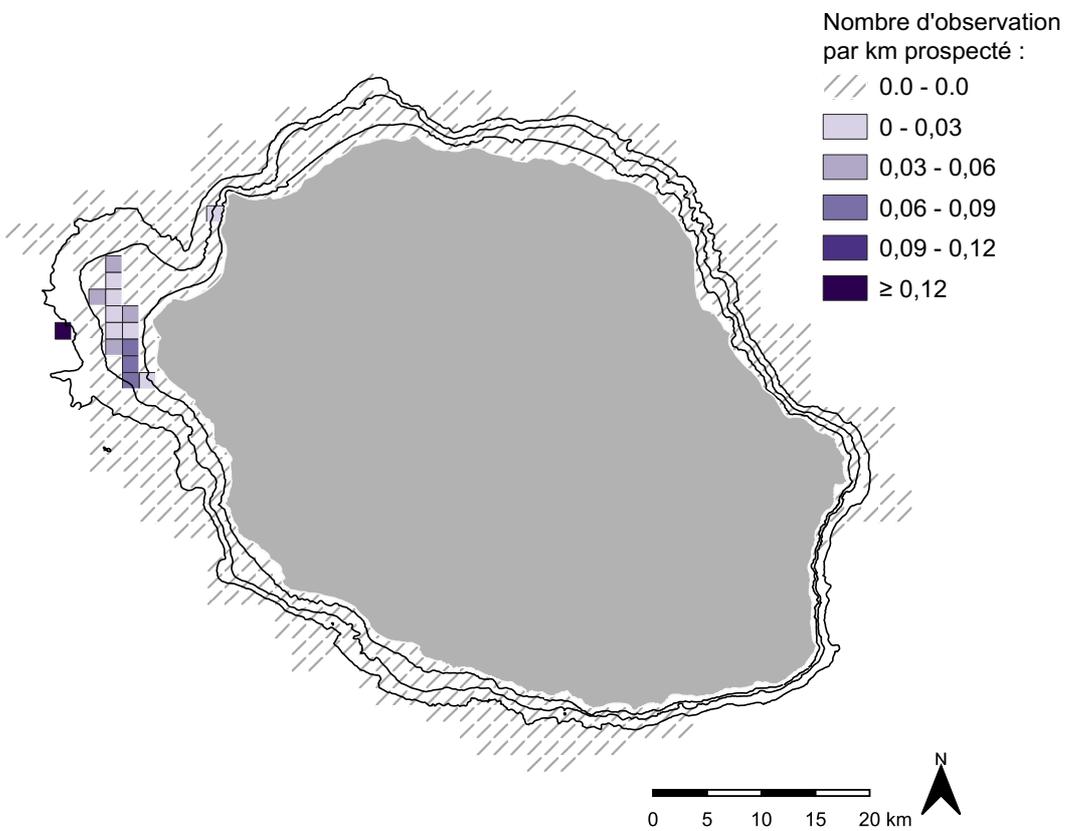
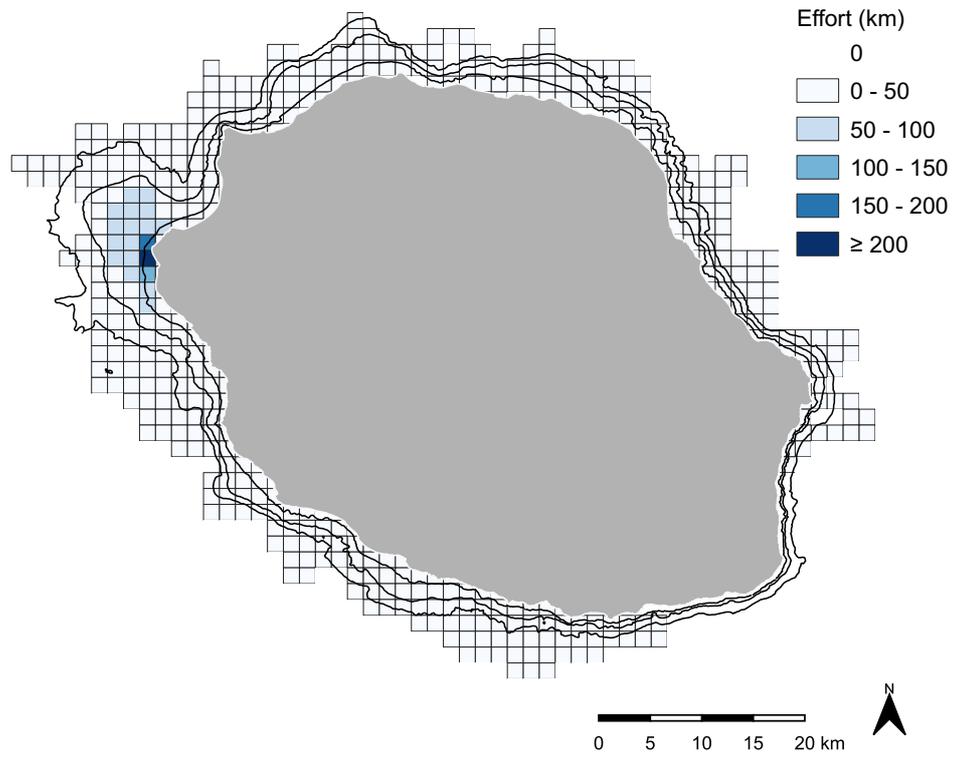
Annexe 3 : Cartographies de l'effort et des fréquences d'observations par année : année 2015

• Année 2016



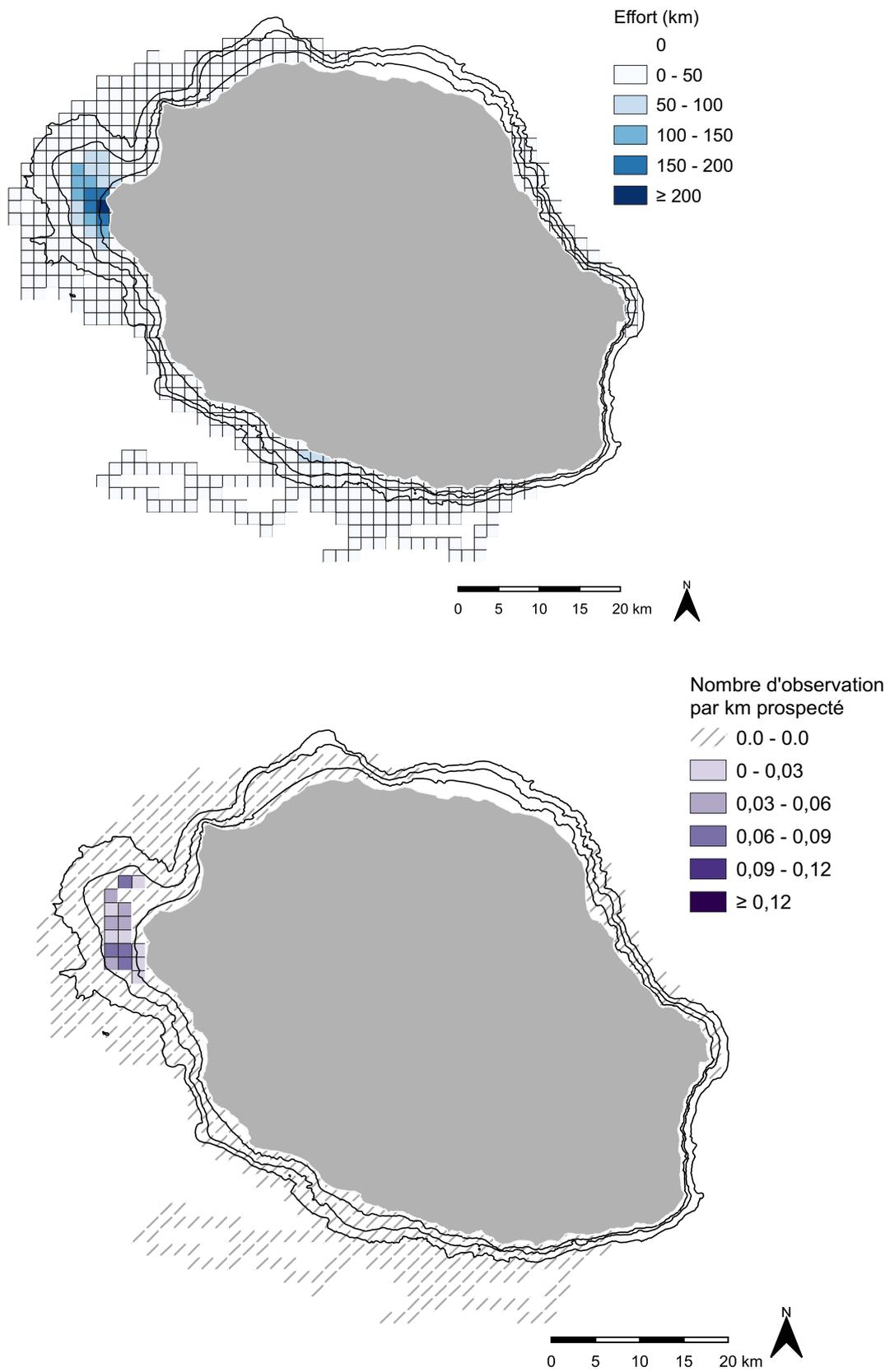
Annexe 3 : Cartographies de l'effort et des fréquences d'observations par année : année 2016

• Année 2017



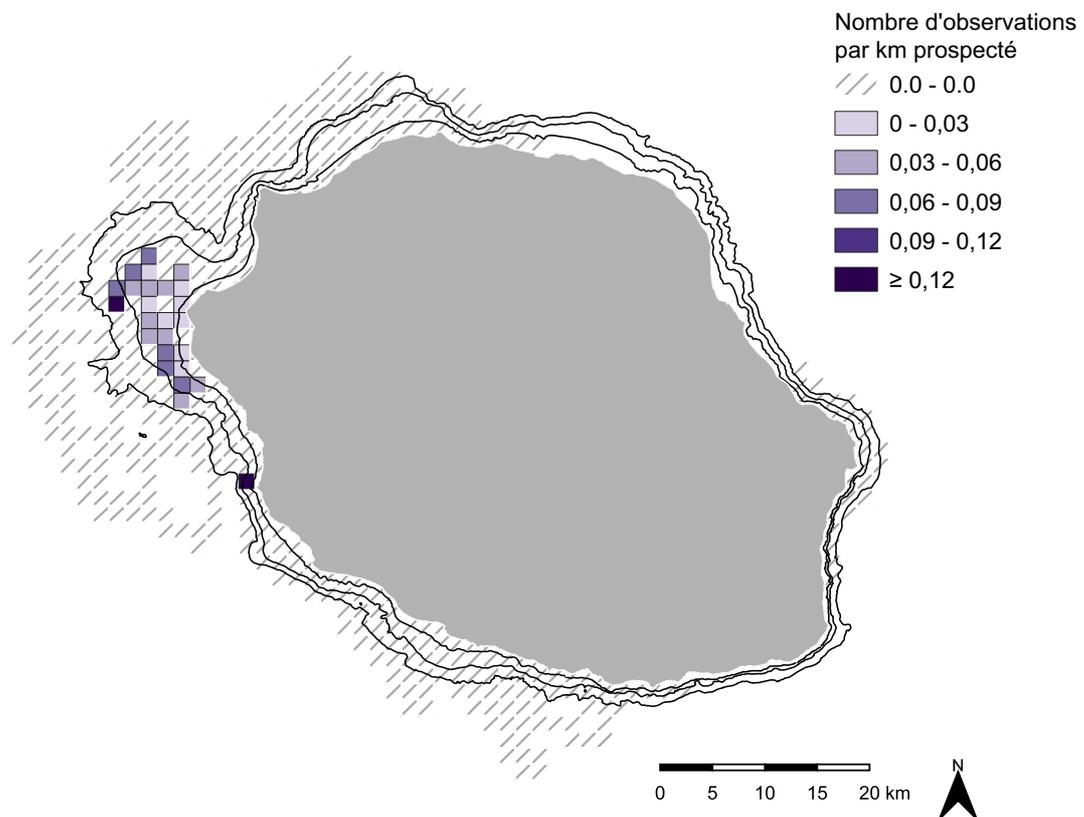
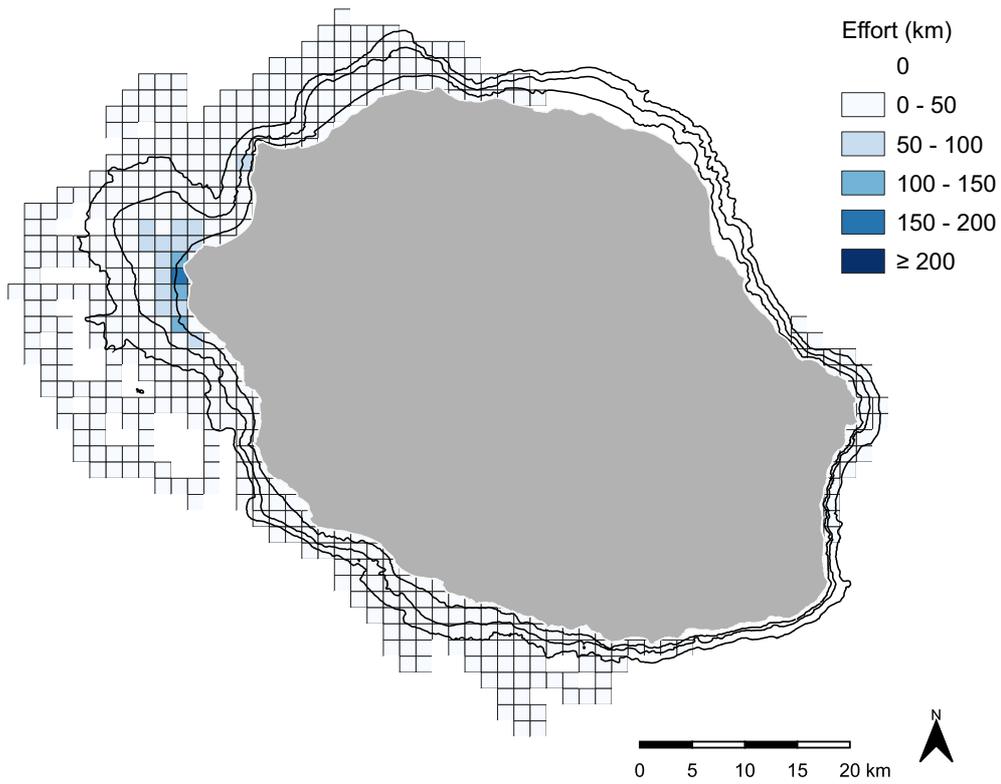
Annexe 3 : Cartographies de l'effort et des fréquences d'observations par année : année 2017

• Année 2018



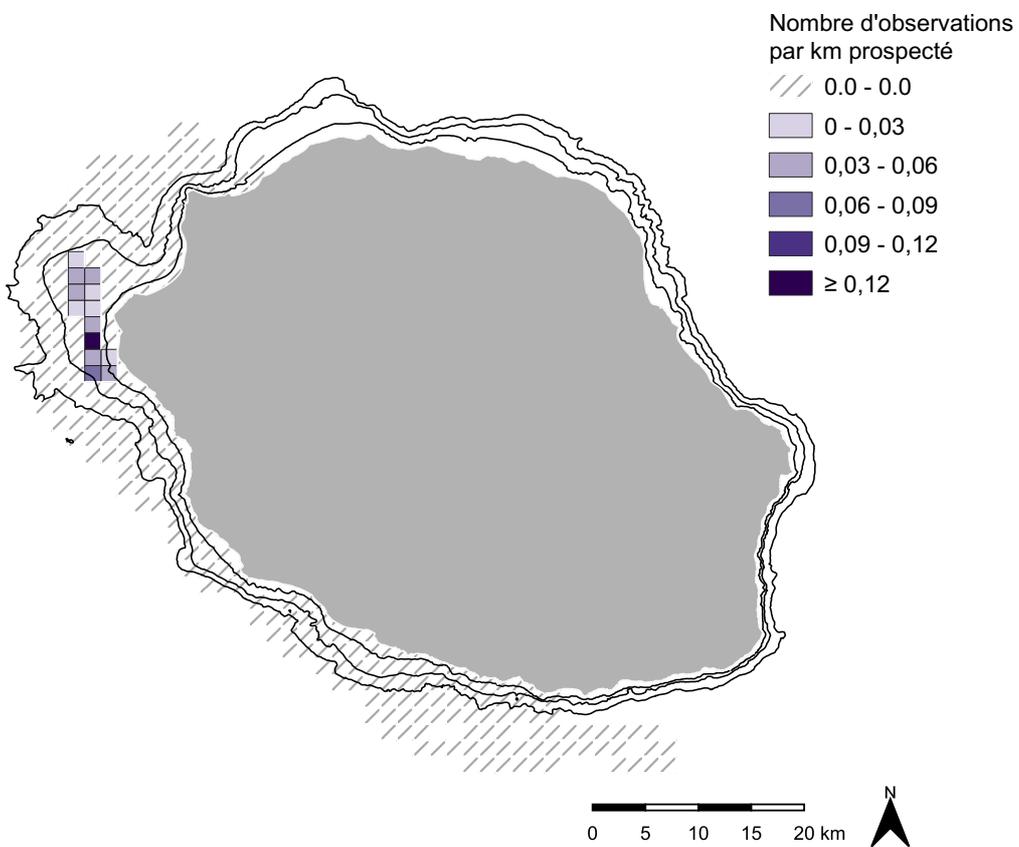
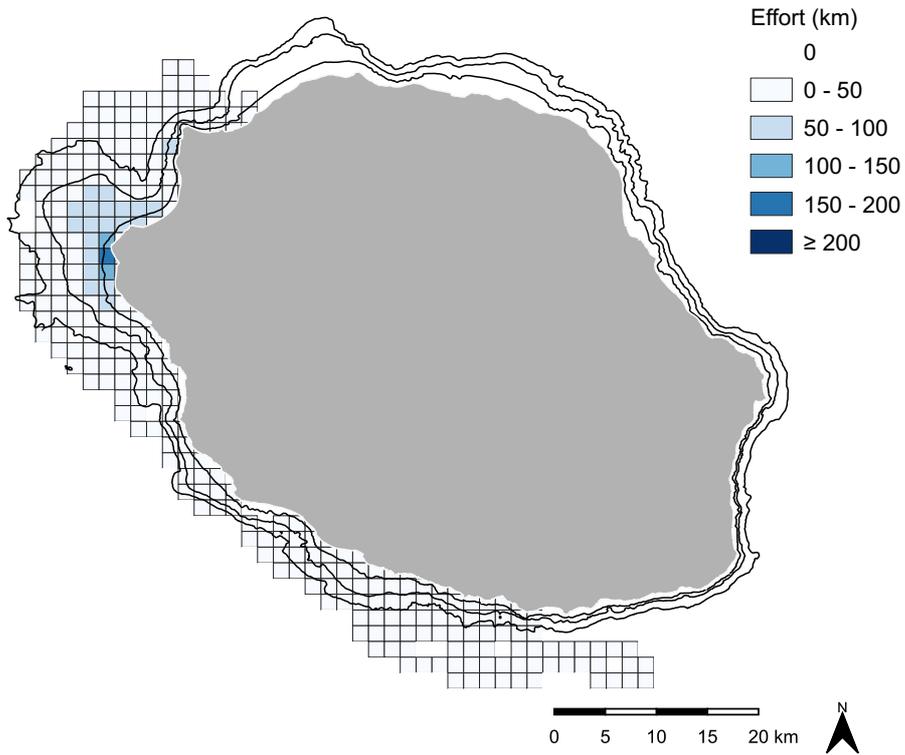
Annexe 3 : Cartographies de l'effort et des fréquences d'observations par année : année 2018

• Année 2019



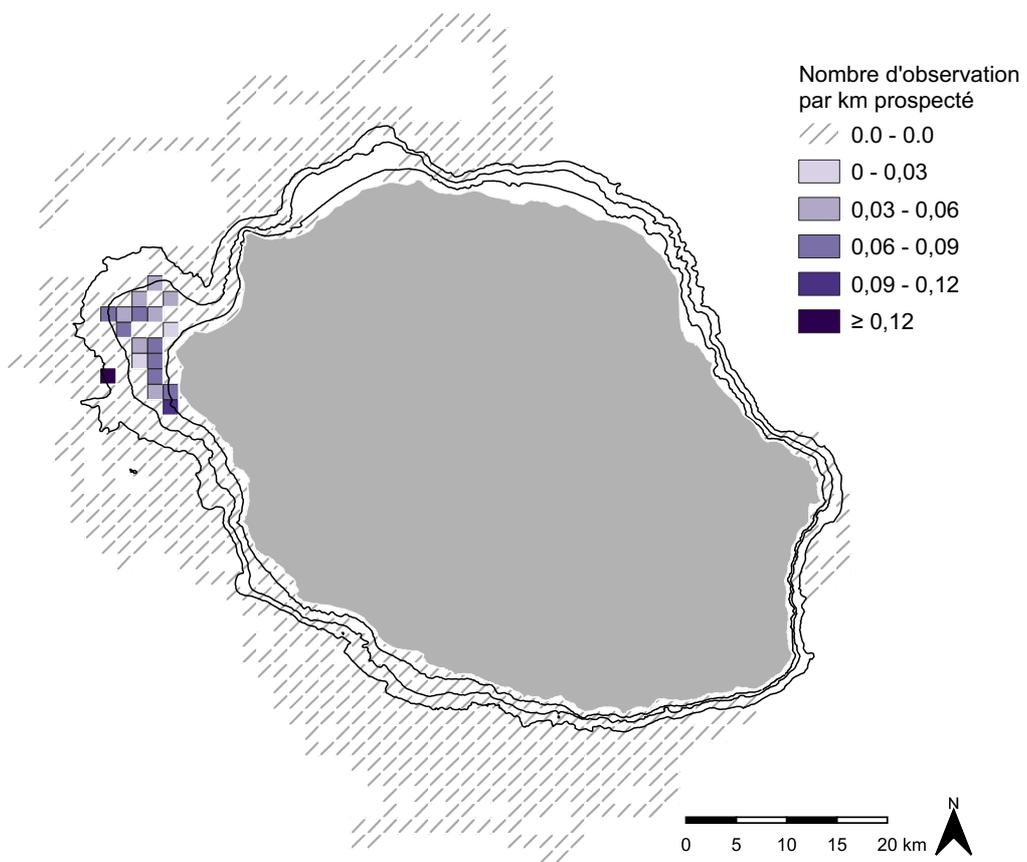
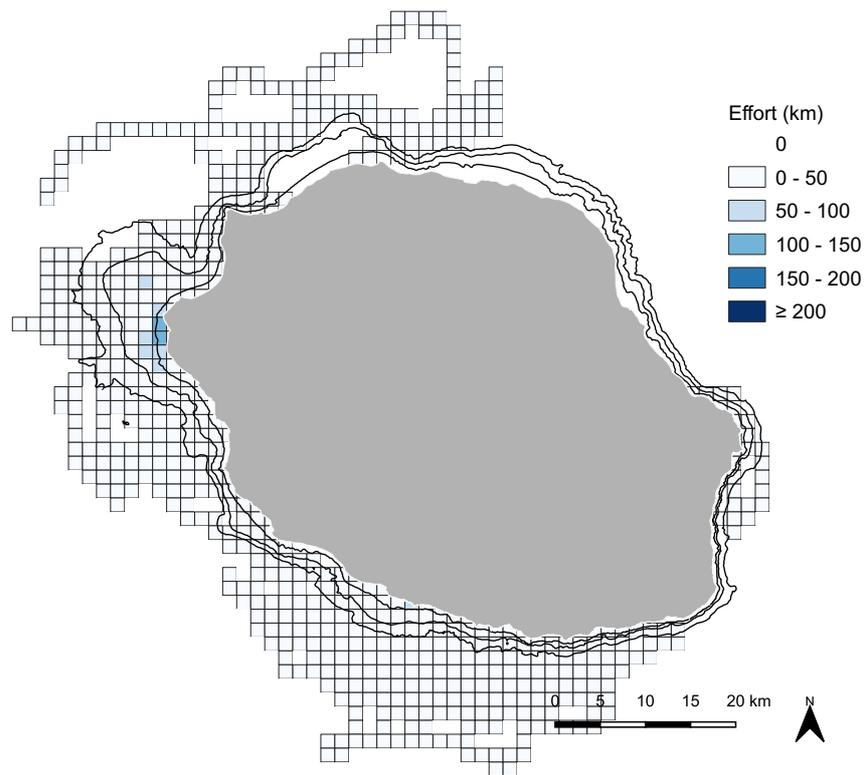
Annexe 3 : Cartographies de l'effort et des fréquences d'observations par année : année 2019

• Année 2020



Annexe 3 : Cartographies de l'effort et des fréquences d'observations par année : année 2020

• Année 2021



Annexe 3 : Cartographies de l'effort et des fréquences d'observations par année : année 2021

Annexe 4 : Logo du label "Observation Certifiée Responsable des Cétacés à la Réunion" (Source : DEAL REUNION)



Annexe 4 : Logo du label "Observation Certifiée Responsable des Cétacés à La Réunion"

Annexe 5 : Mémento de la Charte d'approche et d'observation responsables des cétacés et des tortues marines à La Réunion (Source : CEDTM)

Annexe 5 : Mémento de la Charte d'approche et d'observation responsables des cétacés et des tortues marines à La Réunion

Nom : Boucher

Prénom : Aïnoa

Titre : Étude d'une population de Dauphins long bec (*Stenella longirostris*) inféodée à un milieu insulaire : abondance et habitat dans les eaux réunionnaises sur la période 2013-2021.

Résumé : Cette étude propose une estimation d'abondance et une description de la distribution spatiale et des caractéristiques topographiques de l'habitat de la population de Dauphins long bec réunionnaise, à partir de données de photo-identification et GPS collectées sur la période 2013-2021. L'abondance trouvée par un modèle de capture-recapture du *Robust Design* est relativement stable mais faible sur la période 2013-2021, avec $93,8 \pm 4,7$ individus en moyenne. L'habitat matinal est constant depuis 2008, restreint à une unique zone, côtière, dont les substrats sont de pente faible et couleur claire, au large du port de plaisance de St Gilles, le plus fréquenté de l'île. Une migration vers le large dans l'après-midi est supposée, sans que son habitat post-méridional n'ait pu être déterminé.

Du fait de la localisation et la faible superficie de son habitat matinal, l'activité de *whale-watching* (observation des cétacés) locale concerne très fréquemment le Dauphin long bec. En expansion à l'échelle régionale comme mondiale, cette activité est considérée comme risque principal pour le Dauphin long bec à La Réunion.

Les connaissances liées à son habitat post-méridien et nocturne, à la périodicité de ses activités de nourrissage et de repos, et à des éventuelles connectivités dans la zone de l'Océan Indien, doivent être approfondies pour évaluer le niveau de menace de cette espèce à La Réunion et promouvoir des mesures de conservation adaptées.

Mots-clés : Dauphin long bec, photo-identification, abondance, habitat, *whale-watching*

Title: Spinner dolphins (*Stenella longirostris*) population off a remote oceanic island: abundance and habitat off Reunion Island between 2013 and 2021

Abstract: Abundance and habitat of spinner dolphins around Reunion Island (southwest Indian Ocean) was estimated from photoidentification and GPS data collected between 2013 and 2021. Robust Design mark-recapture models resulted in a stable but low average abundance of $93,8 \pm 4,7$ individuals. Diurnal habitat is constant and confined to a discrete coastal area off St Gilles Marina, with flat, soft and light-coloured substrates. Offshore waters seem to be reached during the afternoon.

Location and small size of the morning core habitat make this population vulnerable to human activity, especially to whale-watching activity.

Research about nocturnal habitat, periodicity of feeding and rest phases, and connectivity with other populations within the west Indian Ocean is necessary in order to evaluate threat level of this population and foster proper conservation actions.

Key-words: spinner dolphin, photoidentification, abundance, habitat, whale-watching