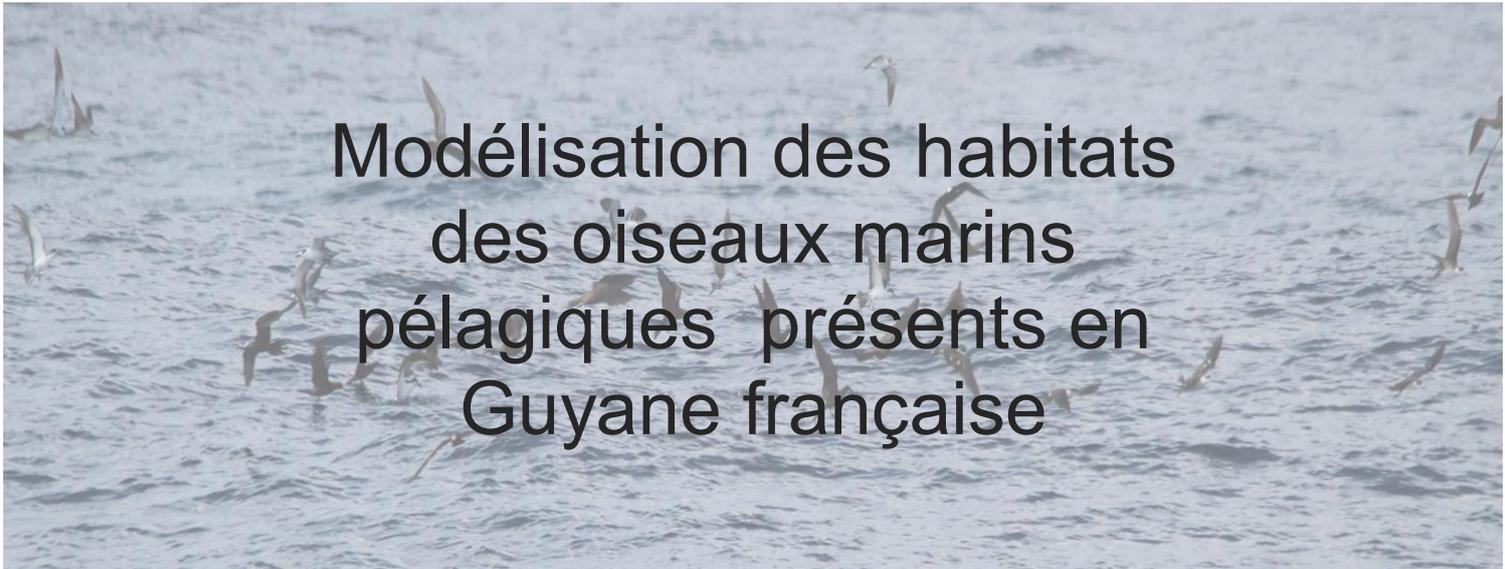


Université de Toulon – Master sciences de la mer – Option : Interactions
biotiques et perturbations anthropiques

Mémoire de stage de deuxième année de Master (2018 – 2019).



Modélisation des habitats des oiseaux marins pélagiques présents en Guyane française

Farhi Monia

Encadré par Ludivine Martinez, Emeline Pettex et Claire Pusineri au sein
de la cellule de transfert Cohabys.

Cohabys, Expertise en environnement – 2 rue Olympes de Gouges
17000 La Rochelle en collaboration avec l'association OSL (Ocean
Science & Logistic) – 14 rue Cresson 97310 Kourou

Du 4 février au 4 août 2019



Engagement de non plagiat.

Je soussigné, FARHI... Maria

N° carte d'étudiant : ... 217014521

Déclare avoir pris connaissance de la charte des examens et notamment du paragraphe spécifique au plagiat.

Je suis pleinement conscient(e) que la copie intégrale sans citation ni référence de documents ou d'une partie de document publiés sous quelques formes que ce soit (ouvrages, publications, rapports d'étudiant, internet etc...) est un plagiat et constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.

En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour produire et écrire ce document.

Fait le ... 21/06/2015

Signature(s)



Ce document doit être inséré en première page de tous les rapports, dossiers et/ou mémoires.

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier mes encadrantes Ludivine Martinez, Claire Pusineri et Emeline Pettex de m'avoir soutenue et beaucoup inspirée durant toute la durée de mon stage. Elles m'ont toutes les trois apporté un grand nombre de connaissances et le soutien nécessaire pendant ces cinq mois.

Je tiens sincèrement à remercier Auriane Virgili, qui m'a tant appris sur les techniques de modélisation. Elle m'a toujours soutenue et répondu lorsque j'en avais besoin.

Je remercie aussi les observateurs de Cohabys et OSL qui ont récoltés les données en mer même quand les conditions étaient difficiles, cela m'a permis de travailler sur ce superbe projet.

Je tiens aussi à remercier toute l'équipe de la Rochelle et tout particulièrement les doctorants et stagiaires avec qui j'ai partagé beaucoup de bons moments.

Enfin, je remercie les organismes qui ont cofinancés les campagnes en mer : les Fonds Européens pour le Développement Régional (FEDER) et la Direction de l'Aménagement, du Logement du GUYANE pour les campagnes OSL, ainsi que la société TOTAL pour les campagnes de COHABYS.

Merci à tous les organismes qui ont participé à l'organisation et à la réalisation de ces campagnes : l'observatoire Pelagis de l'Université de La Rochelle et le laboratoire LIS de l'Université de Toulon, qui ont contribuées à la définition des protocoles mis en œuvre par OSL sur le terrain, le Guyavoile, notre plateforme d'observation, le bureau d'étude CREOCEAN qui a supervisé les campagnes COHABYS ainsi que les bureaux d'étude Aquasearch et Biotope, qui ont fourni des observateurs aguerris à OSL.



Table des matières

1	Introduction	1
2	Matériel et méthodes	3
2.1	Zone d'étude et campagnes en mer	3
2.1.1	Zone d'étude	3
2.1.2	Campagnes en mer	3
2.1.3	Espèces principales	4
2.2	Protocole d'observation de transect en ligne	5
2.3	Traitement des données d'effort et d'observations	6
2.4	Estimation de la largeur de bande effective	7
2.5	Modélisation d'habitat à l'aide du modèle DSM (Density Surface Modelling)	8
2.6	Téléchargement et sélection des données environnementales	8
3	Résultats	10
3.1	Généralités	10
3.2	Sélection de la fonction de détection	12
3.3	Corrélation des variables environnementales	13
3.4	Résultats des modèles additifs généralisés	13
3.5	Cartes de densités	15
4	Discussion	18
4.1	La famille des laridés pélagiques	18
4.2	La famille des procellariidés	20
4.3	La sterne fuligineuse et le puffin majeur	22
5	Conclusion	24
A	Annexes	26
	Bibliographie	29

1 Introduction

Les océans tropicaux représentent 50% de la surface océanique totale et sont caractérisés par une faible productivité ainsi que des ressources alimentaires limitées (Longhurst and Pauly, 1987). Les espèces tropicales font face à des contraintes potentiellement fortes pour satisfaire leurs besoins énergétiques à cause d'une quantité de proies disponibles réduite. Il existe toutefois un nombre d'études limités sur la mégafaune dans les océans tropicaux (Mannocci et al., 2013b).

Par contraste, les eaux guyanaises ont la particularité d'avoir une productivité élevée mais saisonnière. En effet, la concentration en chlorophylle de surface était dix fois plus élevée en Guyane qu'aux Antilles en 2008 (Mannocci et al., 2013b). Cette forte productivité est due à l'apport de matière organique en abondance par les fleuves (*Approuague, Oyapock, Maroni et Amazone*) qui débouchent dans l'océan Atlantique (Artigas et al., 2003). Les eaux marines côtières sont ainsi chargées en alluvions et très turbides (Froidefond et al., 1988). Cette productivité soutient une importante communauté d'oiseaux marins en Guyane, notamment sur l'île du Grand Connétable où nichent de nombreuses espèces (Bordin et al., 2012). Cette réserve naturelle a été créée pour protéger les colonies nicheuses de six oiseaux de mer : la frégate superbe (*Fregata magnificens*), le noddie brun (*Anous stolidus*), la mouette atricille (*Larus atricilla*), la sterne fuligineuse (*Onychoprion fuscatus*), la sterne de Cayenne (*Thalasseus sandvicensis eurygnathus*) et la sterne royale (*Thalasseus maximus*) (Flood et al., 2017), toutes classées comme en danger, menacées ou vulnérables par l'IUCN en Guyane. La plupart des études menées sur les oiseaux marins en Guyane a ainsi porté sur les espèces nicheuses (Weimerskirch et al., 2015). Cependant, de nombreuses espèces d'oiseaux marins migrateurs passent par la Guyane tout au long de l'année, comme la sterne fuligineuse qui niche au Brésil, aux Antilles, en Floride ainsi que sur l'île de l'Ascension (Hughes et al., 2008; Mancini et al., 2016; Burger, 2001). Mais aussi les espèces de puffins, comme le puffin majeur qui niche sur les îles en Atlantique sud (Carboneras, 1992; Snow et al., 1998). Ces espèces migratrices exploitent les eaux guyanaises en dehors de leur période de reproduction pour se nourrir. Les travaux de recensements de la grande faune marine dans l'ensemble de la ZEE guyanaise sont relativement récents mais ont montré une abondance et une diversité remarquable, en particulier au niveau du talus

([Van Canneyt et al., 2009](#); [Bordin et al., 2012](#); [Mannocci, 2013](#)). Parmi les oiseaux marins pélagiques, les laridés (en particulier la sterne fuligineuse, la sterne bridée, la sterne arctique, la petite sterne et le noddie brun), les procellariidés (notamment le pétrel de Bulwer, le puffin majeur, le puffin cendré, le puffin d’Audubon, le puffin des anglais et le puffin fuligineux), les hydrobatidés (en particulier l’océanite à ventre noir, l’océanite cul-blanc, l’océanite de Wilson et l’océanite de Castro) étaient présents en abondance dans cette zone.

De nombreuses pressions anthropiques peuvent s’exercer au niveau des eaux guyanaises : l’orpaillage ([Boudou et al., 2006](#)) qui pollue les eaux de rivières en mercure et contamine le réseau trophique ([Sebastiano et al., 2016](#)) ; les activités de pêche qui entrent en compétition directe avec les oiseaux qui se nourrissent des mêmes proies ([Arcos et al., 2008](#)) ; le bruit sous-marin et aérien qui peut causer du dérangement ([Chardine and Mendenhall, 1998](#)) et les éclairages artificiels en mer qui peuvent désorienter les oiseaux, en particulier pendant les migrations ([Montevecchi, 2006](#)). Compte tenu de toutes ces menaces qui peuvent peser sur les populations d’oiseaux marins en Guyane, la connaissance des zones d’intérêt écologique est donc essentielle pour appréhender les interactions et les impacts potentiels des activités anthropiques, et proposer des mesures de conservation adaptées.

L’objectif de cette étude est d’améliorer les connaissances sur les espèces d’oiseaux pélagiques de Guyane, qu’elles soient nicheuses ou migratrices, en identifiant les zones de forte densité sur le talus continental et en déterminant les habitats préférentiels des espèces majoritaires. Pour cela, nous avons utilisé des données d’observations visuelles issues de deux campagnes dédiées à l’observation de la mégafaune marine sur le talus continental et réalisées en 2018. Nous avons modélisé les habitats préférentiels des espèces majoritairement rencontrées dans la zone à l’aide de modèles additifs généralisés (GAMs) et prédit les cartes de densité pour ces espèces. Enfin, les habitats préférentiels des deux communautés et des deux espèces majoritairement retrouvées en Guyane, ont été comparés.

2 Matériel et méthodes

2.1 Zone d'étude et campagnes en mer

2.1.1 Zone d'étude

La zone économique exclusive (ZEE) de Guyane (138 000 km²) comprend plusieurs grands habitats marins. Le vaste plateau continental inclut une bande côtière dans laquelle se déverse de nombreux fleuves. Ces eaux fluviales enrichissent le milieu marin en matière organique. Le plateau continental est ainsi caractérisé par une importante productivité biologique. Dans cette zone, les eaux sont très riches en alluvions et restent très turbides toute l'année, elles deviennent plus claires à partir de 30 mètres de profondeur, isobathe qui se situe entre 18 et 30 kilomètres de la côte. À plus de 100 kilomètres de la côte, le talus continental s'amorce jusqu'à 3000 mètres de profondeur. Les eaux y sont généralement claires, mais à certaines périodes de l'année les courants peuvent amener les eaux de l'Amazonie jusqu'au talus, en particulier dans la partie est. Au-delà du talus, se trouve un habitat océanique avec des plaines abyssales à des profondeurs atteignant 4 500 mètres ; les eaux y sont parfaitement claires.

2.1.2 Campagnes en mer

Deux séries de campagnes en mer dédiées à la grande faune marine ont été menées entre janvier et octobre 2018 par l'association OSL et la cellule Cohabys. Réalisées à bord d'un catamaran, le Guyavoile, ces campagnes avaient pour objectif de collecter des données relatives aux mammifères marins, oiseaux, tortues et autre faune pélagique selon un protocole standardisé. L'effort d'observation était concentré sur le talus continental en grande majorité mais un effort opportuniste a été réalisé sur le plateau entre le port de Kourou et la zone d'étude (*Figure 2.1*). L'échantillonnage par l'association OSL a été effectué au niveau du talus continental entre 100 et 3500 m à l'aide de transects prédéfinis du lever au coucher du soleil lors de quatre missions : du 15 au 24 juin, du 27 juin au 4 juillet, du 19 au 27 septembre et du 2 au 12 octobre 2018. La cellule Cohabys a échantillonné sur la zone centrale du talus, mais également lors des transits entre la

côte et la zone d'étude puis sur la route du retour vers le port de Kourou (entre 0 et 3500 mètres de profondeur) lors de cinq missions : du 8 au 12 janvier, du 5 au 9 février, du 5 au 9 mars, du 16 au 20 avril et du 21 au 25 mai 2018 (*Figure 2.1*).

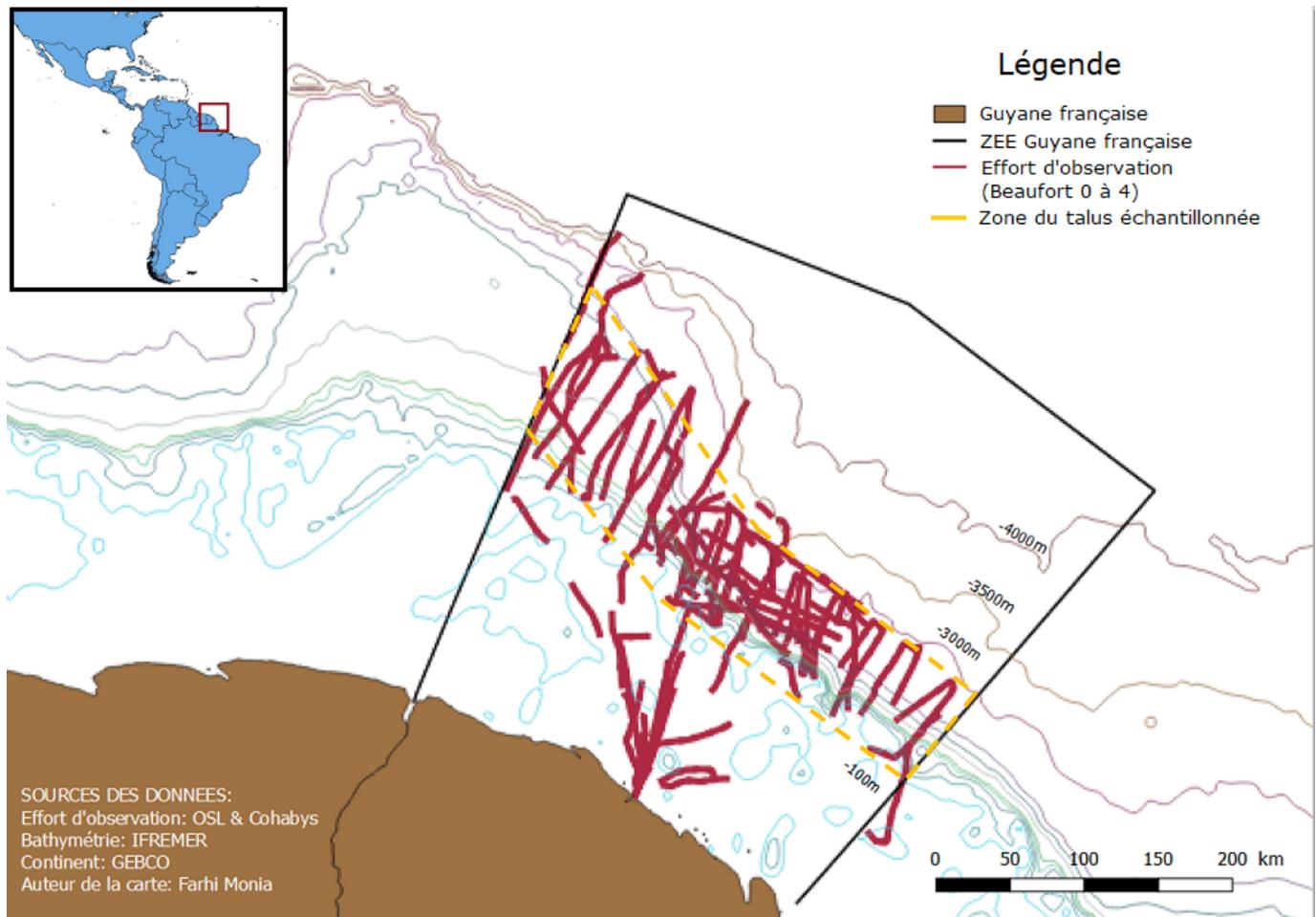


FIGURE 2.1 – Effort d’observation réalisé dans des conditions de mer comprises entre 0 et 4 Beaufort, effectué par la cellule Cohabys et l’association OSL lors des campagnes visuelles de 2018.

2.1.3 Espèces principales

Les eaux guyanaises abritent une grande diversité d’oiseaux marins, notamment la communauté des laridés pélagiques qui est majoritaire en Guyane, et des procellariidés. Cette première communauté est composée de sternes fuligineuses (*Onychoprion fuscatus*), sternes arctiques (*Onychoprion anaethetus*) et noddis bruns (*Anous stolidus*). La sterne fuligineuse est l’espèce la plus représentative de la communauté des laridés pélagiques. Le noddie brun est l’espèce qui niche sur l’île du Grand Connétable. 330 couples de noddie brun ont été recensés en 2007. La sterne fuligineuse était elle aussi nicheuse, environ 250 couples

reproducteurs étaient présents sur l'île de 1980 à 2009. Cependant, en 2009, 80% de la population insulaire a été décimée suite à un épisode d'épizootie. Nous ne la considérons donc pas comme nicheuse en Guyane (une vingtaine de couples s'y reproduisent) mais migratrice (Hauselmann, 2013). Cette espèce niche sur les îles du Brésil, 16 000 couples ont été observés sur l'Atoll das Rocas, mais aussi aux Antilles (sur l'île Dog), en Floride (île Dry Tortugas) et sur l'île de l'Ascension (environ 420 000 individus ont été dénombrés) (Hughes et al., 2008; Mancini et al., 2016; Burger and Gochfeld, 1986). Enfin, la sterne arctique niche surtout en Angleterre, sur l'île de Coquet mais aussi en Amérique du Nord au niveau du Golfe du Maine (Robertson et al., 2014; Scopel and Diamond, 2017).

Les procellariidés sont eux composés du pétrel de Bulwer (*Bulweria bulwerii*), du puffin cendré (*Calonectris borealis*), du puffin d'Audubon (*Puffinus lherminieri*), du puffin des anglais (*Puffinus puffinus*), du puffin fuligineux (*Puffinus griseus*) et du puffin majeur (*Puffinus gravis*). Le puffin majeur est l'espèce dominante de la communauté des procellariidés. Les espèces de puffins sont toutes migratrices et sont présentes en Guyane hors période de reproduction. La famille de procellariidés est composée d'espèces pélagiques qui occupent le talus continental ainsi que la zone océanique au large de la Guyane (de Boer et al., 2014).

2.2 Protocole d'observation de transect en ligne

Des observations visuelles ont été réalisées par des observateurs de faune marine qualifiés et expérimentés. Le bateau suit un plan d'échantillonnage prédéfini et se déplace le long de transects. Deux observateurs sont situés de chaque côté du bateau et à environ deux mètres de hauteur. Ils recherchent visuellement les animaux présents dans la zone de prospection. La détection d'un individu ou d'un groupe d'individus correspond à une observation. La prospection est réalisée selon le protocole de *distance sampling* (Figure 2.2) (Buckland et al., 2015). Seuls sont relevés les animaux venant de l'avant du bateau (entre 270° et 90°). L'observateur tribord s'est donc concentré sur une portion de mer comprise entre 90° et 350°, et l'observateur bâbord s'est concentré sur une portion comprise entre 270° et 10°. Les oiseaux "suiveurs" n'ont pas été relevés car ils ont potentiellement déjà été vus et notés. Pour chaque observation, l'heure, la date, l'espèce, le nombre d'individus, la classe d'âge, la distance par rapport au bateau, l'angle d'observation, le comportement,

le point GPS (latitude et longitude) sont relevés. Chaque observateur doit relever un certain nombre de paramètres pour chaque session d'observation. Celles-ci sont divisées en leg : un leg correspond à une période d'observation pendant laquelle les conditions d'observations ne changent pas L'heure est relevée à chaque début et fin de leg. Pour chaque leg, les informations concernant le cap du navire, la vitesse du vent, la hauteur de houle, la visibilité et la trace GPS sont relevées. À chaque changement d'observateur (toutes les deux heures) ou à chaque changement de conditions environnementales, un nouveau leg est créé et les paramètres environnementaux associés sont à nouveau relevés. .

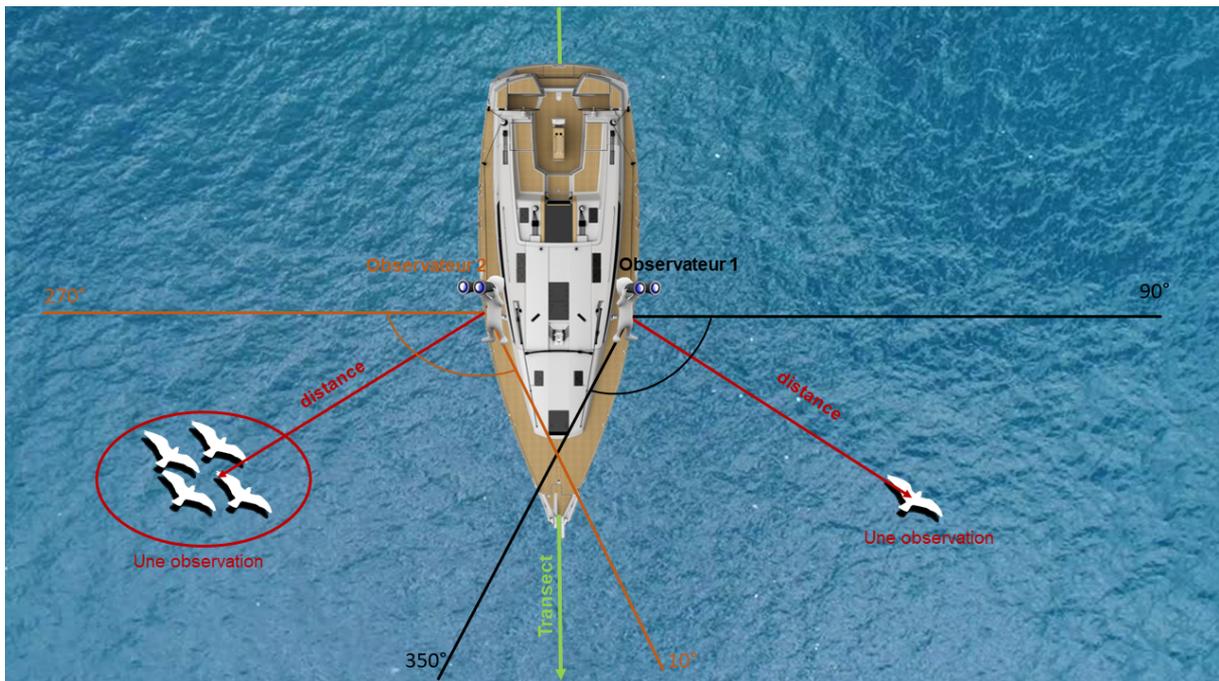


FIGURE 2.2 – Représentation de la méthode de *distance sampling* à bord d'un bateau.

2.3 Traitement des données d'effort et d'observations

Les transects ont été divisés en plusieurs segments de même taille (environ 5 kilomètres) à l'aide du logiciel ArcGIS[®] (version 3.3.1) afin que la variation des paramètres environnementaux ne soit pas trop importante au sein d'un même segment (Mannocci et al., 2014, 2013a).

Puis les observations ainsi que les variables environnementales ont été rattachées à leur segment en utilisant les coordonnées de latitude et longitude du centroïde de chaque segment.

Enfin une grille de la zone d'étude a été créée en divisant cette zone en cellules de 5 par 5

kilomètres chacune afin d'obtenir une résolution de 25 km² de toute la zone. Cette zone de prédiction s'étend sur 168 585 km².

2.4 Estimation de la largeur de bande effective

La méthode d'observation en transect en ligne est communément utilisée afin d'estimer l'abondance de la mégafaune marine (Buckland et al., 2015). La largeur de bande effective (ESW) est le paramètre qui va permettre d'estimer cette abondance en corrigeant la diminution de la détection d'un animal avec la distance à l'observateur depuis le transect. En effet, plus un animal est loin moins il a de chance d'être vu. Cette fonction décroît de manière non linéaire. Ces données de distance sont ensuite regroupées par classe de 200 mètres, ce qui permet la production d'un histogramme et d'une courbe de détection $g(x)$ en fonction de la distance d'observation (en mètres). À la distance zéro, il est considéré que tous les individus ont été détectés par l'observateur ($g(0)=1$) (Thomas et al., 2010). Il est donc admis que, premièrement les animaux présent sur cette ligne sont détectés avec certitude grâce à la présence de deux observateurs; deuxièmement, les animaux sont immobiles; et enfin, les mesures sont exactes c'est-à-dire que la distance directe est enregistrée (Laake and Borchers, 2004). Les distances trop éloignées (5%) ont été écartées de l'analyse afin d'éviter de biaiser le calcul de l'ESW (Buckland et al., 2001). Puis des classes de 200 mètres ont été effectuées pour les données obtenues entre 0 et 4 Beaufort (Virgili et al., 2019). Deux fonctions clés sont alors utilisées afin d'en déduire la fonction de détection, la loi "semi-normale" et le "taux de risque". Chaque fonction définit une valeur de largeur de bande effective (ESW) qui représente la distance pour laquelle le nombre d'animaux détectés à l'extérieur de cette bande est égale au nombre d'animaux détectés à l'intérieur de la bande. Afin de n'en sélectionner qu'une, le critère d'information d'Akaike (AIC) est calculé (Akaike, 1973). Plus l'indice est petit, meilleur est l'ajustement des données. La valeur d'ESW sélectionnée est ensuite rattaché à chaque segment en respectant le groupe d'espèce et l'état de la mer (en Beaufort). L'ensemble des analyses est réalisé à l'aide du logiciel R[®] (version 3.5.2), suite à l'installation du pack "Distance".

2.5 Modélisation d'habitat à l'aide du modèle DSM (Density Surface Modelling)

Cette étape permet de connaître la relation entre une espèce ou un groupe d'espèce et leur environnement. De plus, elle permet d'estimer la densité relative de l'espèce dans la zone d'étude.

Afin de modéliser l'habitat préférentiel des oiseaux marins, le modèle GAM (Generalized Additive Model) avec une distribution de Tweedie (TW-GAM) a été utilisé afin d'extrapoler pour chaque cellule les variables environnementales les mieux corrélées avec la présence de l'espèce étudiée (Wood, 2006). Les modèles additifs généralisés modélisent les relations non linéaires entre les prédicteurs environnementaux et la présence d'un animal (Wood, 2006). Le modèle TW-GAM a été choisi car il permet l'obtention de carte de densité pour les espèces marines rares c'est-à-dire lorsque le nombre d'observation est faible. (Virgili, 2018). Compte tenu de la taille de notre jeu de données, nous avons donc choisi ce modèle pour obtenir des cartes robustes pour les espèces étudiées. La sélection du modèle final (les variables environnementales qui influencent le plus la présence d'une espèce) est réalisée à l'aide de l'indice AIC (Akaike, 1973), qui évalue la performance du modèle, ainsi qu'à l'aide de la déviance expliquée. La déviance expliquée doit être importante pour que le modèle soit robuste (Virgili et al., 2017) alors que l'AIC doit être petit.

Ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R[®] (version 3.5.2) et du package "mgcv" (Wood, 2006) sur deux espèces d'oiseaux marins : la sterne fuligineuse et le puffin majeur, ainsi que sur deux familles : les laridés pélagiques et les procellariidés.

2.6 Téléchargement et sélection des données environnementales

Les covariables environnementales (ou prédicteurs) peuvent être statiques (pente et profondeur) ou dynamiques (concentration en chlorophylle a, température de surface de la mer, vitesse du courant et hauteur de la surface de la mer) (Miller et al., 2013; Roberts et al., 2016). Elles sont obtenues à l'aide du logiciel ArcGIS (version 10.3.1) et plus précisément à l'aide de l'outil "Marine Geospatial Ecology Tools" (Roberts et al.,

2010).

Tableau I : Tableau représentant les données environnementales utilisées pour les modèles d'habitats des oiseaux marins.

Variables explicatives	Résolution spatiale (°)	Sources
Statiques		
Profondeur (m)	0.0083 x 0.0083	A
Pente (°)	0.0083 x 0.0083	A
Dynamiques		
Température de surface (SST, °C)	0.05 x 0.05	B
Hauteur d'eau à la surface (SSH, m)	0.08 x 0.08	C
Chlorophylle (mg.m ⁻³)	0.0417 x 0.0417	D
Vitesse du courant (m.s ⁻¹)	0.25 x 0.25	E

A : <https://data.ifremer.fr>

B : <https://podaac.jpl.nasa.gov/>

C : <http://hycom.com>

D : <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/data/aqua/>

E : <https://www.globcurrent.org/>

Une résolution de un degré équivaut environ à un kilomètre.

Ces données ont été téléchargées pour la période du 01/01/2018 au 31/10/2018 qui correspond à la période pendant laquelle les campagnes en mer ont été réalisées. Les oiseaux marins tropicaux répondent d'avantage à des structures océanographiques persistantes qu'à des phénomènes ponctuels : cela leur permet d'avoir accès à des ressources alimentaires de façon récurrentes (Mannocci, 2013). La moyenne pour chaque paramètre a donc été effectuée sur les dix mois de données disponibles.

La moyenne de hauteur d'eau ainsi que la moyenne, la variance et le gradient de température ont été calculées à l'aide du logiciel R[®] (version 3.5.2). La pente a été obtenue à l'aide de la profondeur sur R[®].

Les paramètres suivants ont été sélectionnés pour le modèle d'habitat (*Figures A.1 et A.2 en annexe*) : la température, la moyenne de température et le gradient de température qui indiquent la présence de fronts thermiques souvent associés à l'agrégation de proies ; la hauteur d'eau et la moyenne de hauteur d'eau qui révèlent l'agrégation de nutriments, ; la concentration en chlorophylle a qui est un proxy de la présence de proies ; le courant qui

joue un rôle important dans la distribution des proies des oiseaux ; la pente qui lorsque celle-ci est forte induit une augmentation ou une agrégation de la production primaire et la profondeur. Un test de corrélation, à l'aide du coefficient de Spearman, a été effectué entre les différentes variables avant de les insérer au modèle. En effet, si les variables sont corrélées entre elles, elles sont exclues du modèle car elles portent une information redondante. Le seuil de corrélation est fixé à $|0,7|$. Si le résultat entre deux variables est supérieur à ce seuil, seul l'un des deux paramètres est sélectionné.

Le nombre de prédicteurs pour un même modèle est limité à quatre afin de faciliter l'interprétation des cartes de densité. Plusieurs combinaisons ont été testées, mais seulement une combinaison est sélectionnée via le critère d'AIC et la déviance expliquée. Cette combinaison est ensuite utilisée afin de calculer la densité relative de l'espèce cible sur la zone d'étude.

3 Résultats

3.1 Généralités

563h d'observation visuelle ont été effectuées lors des campagnes , soit 5791 km d'effort d'observation (Figure 2.1).

Tableau II : Tableau représentant la synthèse des campagnes en mer entre janvier et octobre 2018.

Nom commun	Nom scientifique	Nombre de groupes (individus) observés par conditions météo favorables (Beaufort≤4)	Abondance relative en % des groupes (individus) observés
Procellariidae		177 (683)	25 (12)
Pétrel de Bulwer	<i>Bulweria bulwerii</i>	4 (4)	1 (0)
Puffin cendre	<i>Calonectris diomedea</i>	17 (19)	2 (0)
Puffin d'Audubon	<i>Puffinus lherminieri</i>	20 (34)	2 (1)
Puffin des anglais	<i>Puffinus puffinus</i>	34 (40)	4 (1)
Puffin fuligineux	<i>Puffinus griseus</i>	1 (1)	0 (0)
Puffin majeur	<i>Ardenna gravis</i>	77 (541)	10 (9)
Puffin ind.	<i>Puffinus spp</i>	24 (44)	3 (1)
Laridae pélagiques		220 (4443)	31 (79)
Noddi brun	<i>Anous stolidus</i>	24 (100)	3 (2)
Sterne arctique	<i>Sterna paradisaea</i>	1 (1)	0 (0)
Petite sterne	<i>Sternula antillarum</i>	3 (5)	0 (0)
Sterne fuligineuse	<i>Onychoprion fuscata</i>	191 (4336)	26 (76)
Sterne bridée	<i>Sterna anaethetus</i>	1 (1)	0 (0)
Laridae côtiers		149 (293)	21 (5)
Hydrobatidae		80 (112)	11 (2)
Phaethontidae		10 (14)	2 (0)
Fregatidae		24 (31)	3 (1)
Sulidae		19 (20)	3 (0)
Stercorariidae		29 (34)	4 (1)
TOTAUX		708 (5633)	100 (100)

708 observations d'oiseaux ont été réalisées lors des campagnes, pour un total de 5633 individus. Les laridés sont la famille la plus abondamment rencontrée puisqu'ils représentent 52% des observations totales. Ils comportent à la fois des espèces côtières et des espèces pélagiques. Parmi la communauté d'espèces pélagiques, la sterne fuligineuse est l'espèce prépondérante. Elle représente à elle seule 87% de la communauté des laridés pélagiques, en ne prenant en compte que les beauforts 0 à 4. Les autres espèces sont le noddi brun, la sterne arctique et la petite sterne. La seconde famille la plus fréquemment rencontrée est celle des procellariidés (25% des détections d'oiseaux). Le puffin majeur est l'espèce principale. Il représente 43% de la communauté des procellariidés, en ne prenant en compte que les beauforts 0 à 4. Les autres espèces rencontrées au sein de cette communauté sont le pétrel de Bulwer, le puffin cendré, le puffin des anglais, le puffin d'Audubon et le puffin fuligineux (*Tableau II*).

Notre travail dans le cadre de cette étude a donc porté sur la modélisation des habitats préférentiels de ces deux familles et de ces deux espèces principales.

3.2 Sélection de la fonction de détection

La largeur de bande effective a été déterminée pour chaque espèces et familles étudiées.

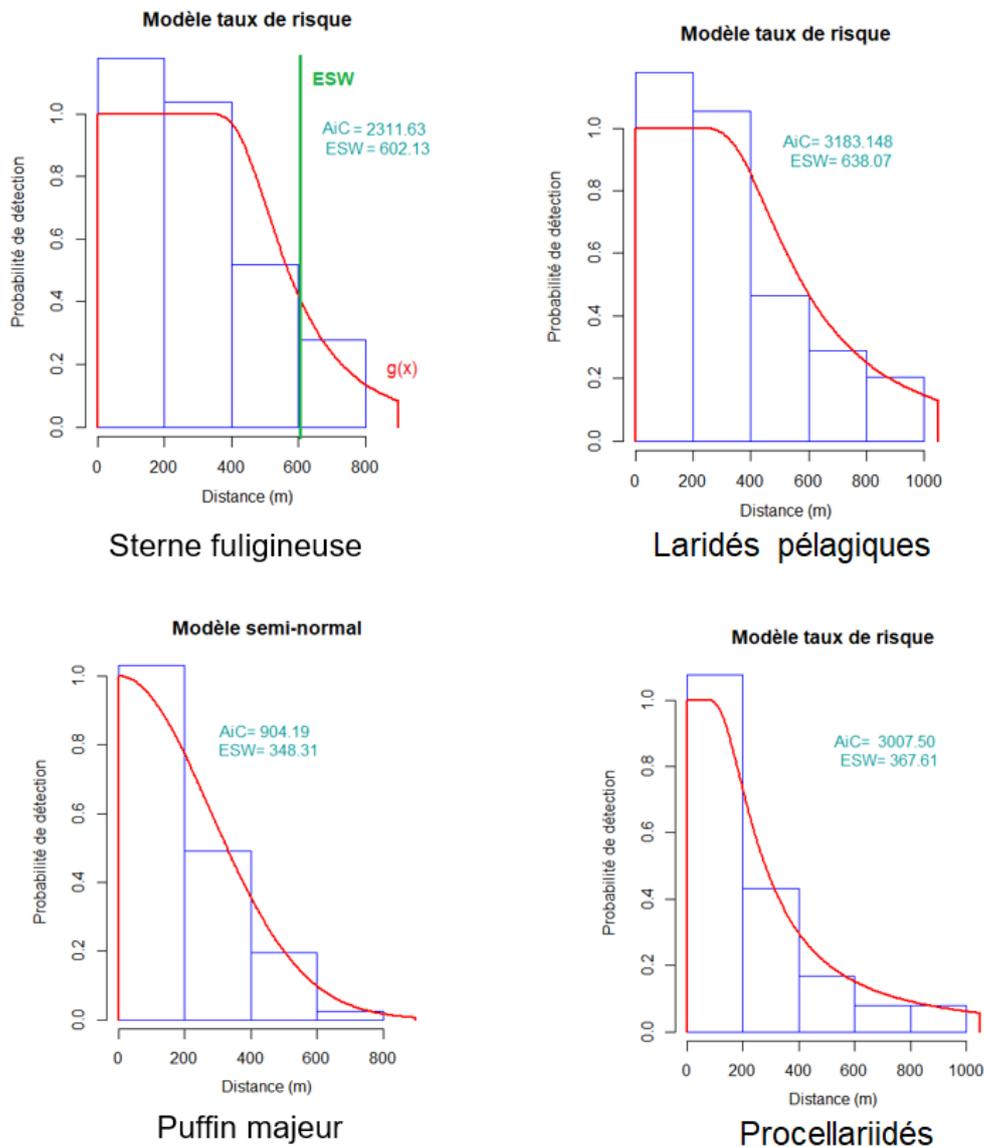


FIGURE 3.1 – Représentation de la probabilité de détection en fonction de la distance d’observation (m), ainsi que la fonction de détection associée ($g(x)$ en rouge) et le modèle sélectionné.

Le modèle sélectionné est celui pour lequel le critère d’information d’Akaike (AIC) est le plus faible ce qui permet d’en déduire la fonction la plus représentative des données. Les laridés pélagiques ainsi que la sterne fuligineuse peuvent être observés à des distances élevées par rapport à l’observateur, alors que les procellariidés et le puffin majeur sont plus difficilement observables à de longue distance. En effet, la reconnaissance de ces espèces

n'est plus possible au-delà de 400 mètres (*Figure 3.1*).

3.3 Corrélation des variables environnementales

Cette analyse est nécessaire avant d'effectuer le modèle car ce dernier ne peut pas être réalisé avec des variables qui sont corrélées positivement ou négativement (*Tableau III*). Au-delà de $|0,7|$ (en orange), les variables sont considérées comme étant corrélées.

Tableau III : Coefficients de corrélation entre les variables environnementales prises en compte pour le modèle d'habitat.

	SST	MEAN_SST	SD_SST	GR_SST	SSH	MEAN_SSH	COURANT	CHL	PENTE	PROFONDEUR
SST	1	1	0.399	0.38	0.406	0.406	0.26	0.072	0.0967	-0.217
MEAN_SST	1	1	0.4	0.381	0.406	0.406	0.259	0.0723	0.0963	-0.217
SD_SST	0.399	0.4	1	0.996	0.0341	0.0296	-0.135	-0.053	-0.222	0.266
GR_SST	0.38	0.381	0.996	1	0.0222	0.018	-0.151	-0.0443	-0.228	0.287
SSH	0.406	0.406	0.0341	0.0222	1	0.995	-0.174	-0.0683	0.186	-0.426
MEAN_SSH	0.406	0.406	0.0296	0.018	0.995	1	-0.17	-0.0684	0.19	-0.431
COURANT	0.26	0.259	-0.135	-0.151	-0.174	-0.17	1	0.0189	0.204	-0.195
CHL	0.072	0.0723	-0.053	-0.0443	-0.0683	-0.0684	0.0189	1	-0.028	-0.111
PENTE	0.0967	0.0963	-0.222	-0.228	0.186	0.19	0.204	-0.028	1	-0.454
PROFONDEUR	-0.217	-0.217	0.266	0.287	-0.426	-0.431	-0.195	-0.111	-0.454	1

D'après ce résultat, plusieurs paramètres sont corrélés :

- 1) La température de surface (SST) et la moyenne de température (MEAN SST)
- 2) La variance et le gradient de température (SD SST et GR SST)
- 3) La hauteur d'eau de surface et la moyenne de hauteur d'eau (SSH et MEAN SSH)

Les variables suivantes seront donc prises en compte lors de la réalisation du modèle : moyenne de température, gradient de température, moyenne de hauteur d'eau, concentration en chlorophylle, courant, pente et profondeur.

3.4 Résultats des modèles additifs généralisés

La relation entre les individus d'une même espèce ou communauté et leur environnement sont représentés ci-dessous.

Tableau IV : Récapitulatif des modèles additifs généralisés pour deux espèces et deux communautés d'oiseaux marins.

Espèce/Communauté	Effectif	AIC	Déviance expliquée	Paramètres environnementaux
Sterne fuligineuse	191.00	1711.85	15.60%	Moyenne SST, gradient SST, profondeur, pente.
Puffin majeur	76.00	577.34	36.30%	Moyenne SST, chlorophylle, profondeur.
Laridés pélagiques	219.00	1989.59	20.10%	Moyenne SST, gradient SST, profondeur, pente.
Procellariidés	170.00	854.34	51.70%	Pente, moyenne SST, chlorophylle, courant.

L'effectif correspond au nombre de groupes observés pour chaque espèce et les paramètres environnementaux les prédicteurs sélectionnés par le modèle.

Les distributions des sternes fuligineuses et des laridés pélagiques semblent toutes deux être influencées par la température de la surface de l'eau et la bathymétrie. En ce qui concerne le puffin majeur, les variables qui contribuent le plus à sa distribution sont la moyenne de température, la concentration en chlorophylle a et la profondeur. Enfin la pente, la moyenne de température, la concentration en chlorophylle a et le courant sont les variables qui déterminent la distribution des procellariidés (*Tableau IV*).

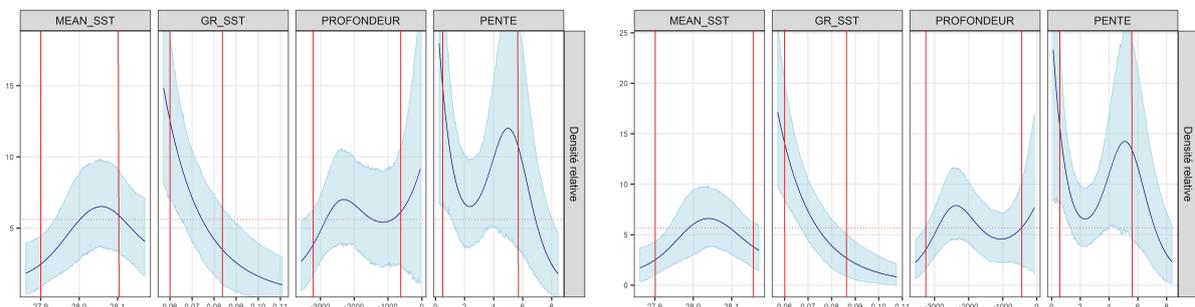


FIGURE 3.2 – Résultats des GAMs pour la sterne fuligineuse (à gauche) et les laridés (à droite). Les intervalles de confiance à 95% autour de la densité relative sont représentés en bleu autour de la courbe non paramétrique estimée qui représente la relation entre l'environnement et l'espèce cible. Enfin, les intervalles de confiance pour chaque prédicteur environnemental (en rouge) ont été tracés afin de connaître la gamme de valeurs pour laquelle la réponse est prise en compte.

La sterne fuligineuse montre une préférence pour un habitat avec une température de surface élevée (l'optimum de densité se situe à 28,05°C), un faible gradient de température (la densité diminue lorsque celui-ci augmente), profond (la densité maximale est observé à -2200 mètres) et des pentes assez faibles (deux pics de densité sont observés à 1° et à 5,9°).

Les prédicteurs qui influencent le plus la distribution des laridés pélagiques sont identiques à ceux qui influencent la distribution des sternes fuligineuses (*Figure 3.2*).

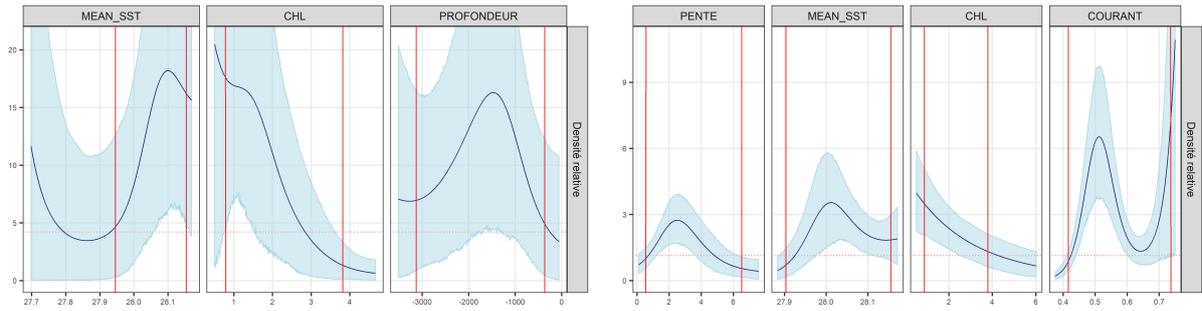


FIGURE 3.3 – Résultats des GAMs pour le puffin majeur (à gauche) et les procellariidés (à droite).

Le puffin majeur est observé dans des eaux plus chaudes en surface (optimum de densité à $28,1^{\circ}\text{C}$), peu productives (la densité diminue lorsque la concentration en chlorophylle a augmente) et à des profondeurs élevées (la plus forte densité est observée à -1400 mètres). Quant aux procellariidés, il semblerait qu'ils occupent des habitats à faible pente (l'optimum de densité est observé à $2,5^{\circ}$), avec une moyenne de température plutôt élevée ($28,01^{\circ}\text{C}$), peu productifs (la densité de puffins diminue avec l'augmentation de la concentration en chlorophylle a) et avec des forts courants (deux pics sont présents à $0,51 \text{ m.s}^{-1}$ et de $0,65$ à $0,75 \text{ m.s}^{-1}$) (*Figure 3.3*).

3.5 Cartes de densités

Les cartes de prédiction de densité ont été réalisées pour les communautés et pour chacune des espèces considérées (*Figure 3.4 et 3.5*). La zone du talus échantillonnée (entre 200 et 3000 mètres de profondeur) est représentée en pointillé sur chaque carte.

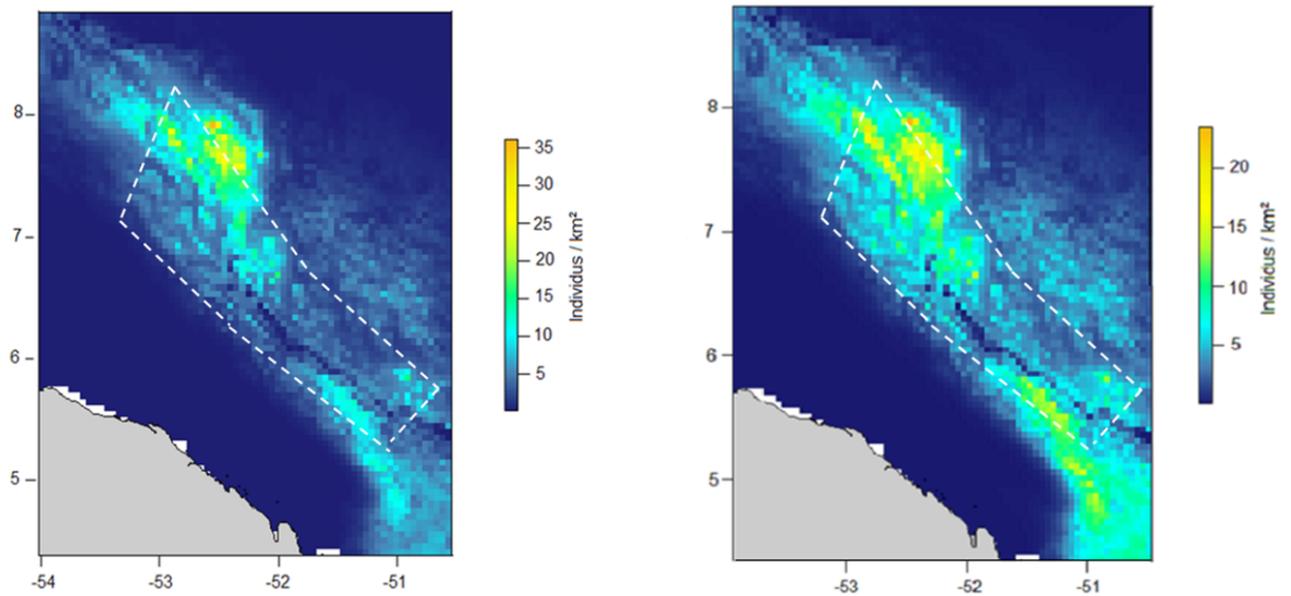


FIGURE 3.4 – Carte de densité (individus/km²) des laridés pélagiques (à gauche) et de la sterne fuligineuse (à droite).

Les laridés (*Figure 3.4 à gauche*) se distribuent sur l'ensemble du talus mais aussi plus au large, dans le milieu océanique ainsi que sur le plateau de Demerara au nord-ouest. Les zones de plus fortes densités se trouvent au nord-est de la carte, sur la partie basse du talus continental (entre 1500 et 3000 mètres de profondeur), à la frontière entre le talus et la zone océanique (35 individus/km²). Cette communauté préfère les eaux plus chaudes, profondes et peu productives. Les cartes de prédictions montrent des densités très faibles à nulles en zone côtière ou océanique. Ces espèces de laridés pélagiques ne sont pas retrouvées dans des eaux peu ou trop profondes, à faible pente et à des températures de surface plus basses que celles retrouvées sur le talus.

Les sternes fuligineuses (*Figure 3.4 à droite*) ont une distribution identique à celle des laridés pélagiques. La plus forte densité (22 individus/km²) se situe également à la frontière entre le talus continental et la zone océanique (-52.5° de longitude et 8.9° de latitude). Cependant, elles ne sont prédites ni en zone océanique, où la profondeur est supérieure à celle du talus, ni en zone côtière où les profondeurs sont nettement inférieures et la température plus faible.

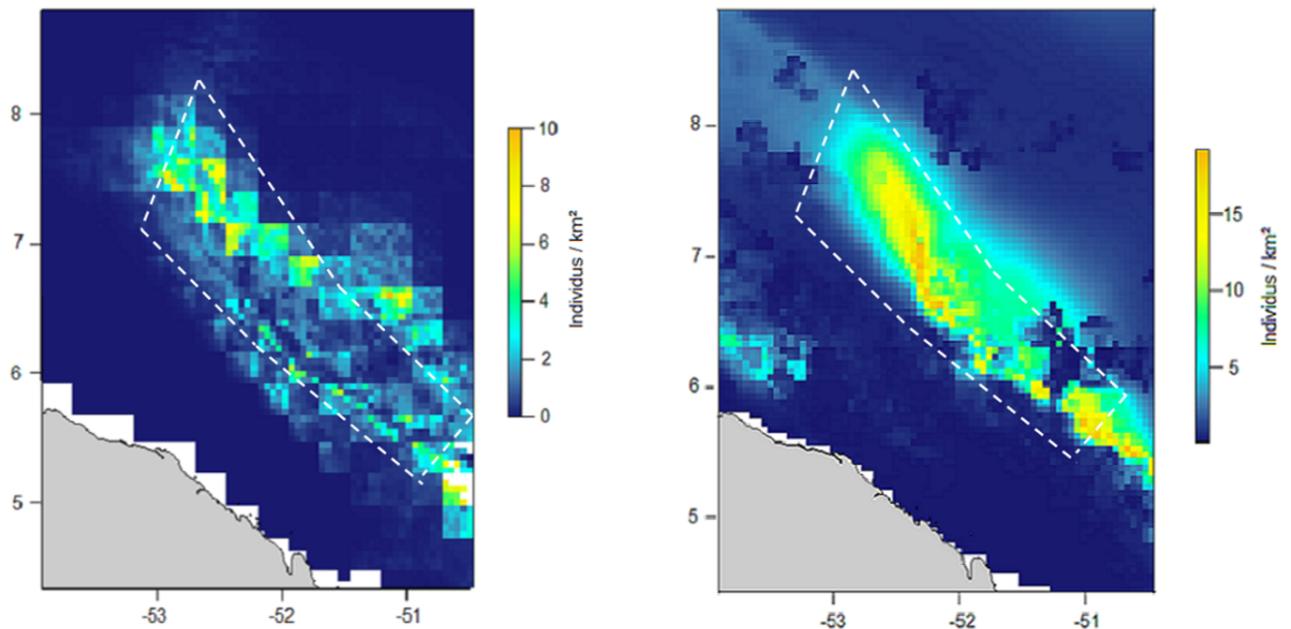


FIGURE 3.5 – Carte de densité (individus/km²) des procellariidés (à gauche) et du puffin majeur (à droite).

Les procellariidés (*Figure 3.5 à gauche*) sont retrouvés eux aussi sur l'ensemble du talus. Ils préfèrent cependant des milieux moins profonds que la communauté de laridés pélagiques. Les plus fortes densités (jusqu'à 10 individus/km²) sont prédites au centre du talus continental. En effet, ils sont retrouvés plus haut sur le talus comparé aux laridés. Cette communauté préfère les eaux à forte pente avec une température chaude, à faible productivité et un fort courant. Comme les laridés, ils ne sont retrouvés ni en zone côtière ni en zone océanique.

L'habitat préférentiel du puffin majeur (*Figure 3.5 à droite*) est centré sur la partie haute du talus (entre 200 et 1500 mètres de profondeur). La densité maximale (18 individus/km²) est prédite à 1400 mètres de profondeur. Des densités nulles ont été prédites en zones océaniques, alors que des densités faibles notamment au niveau de l'embouchure du fleuve Maroni sont observées.

4 Discussion

L'objectif de cette étude était d'améliorer les connaissances sur les espèces d'oiseaux marins pélagiques de Guyane, en particulier sur le talus continental. De précédentes études ont en effet soulevé l'intérêt écologique de ce secteur pour la mégafaune marine (Van Canneyt et al., 2009; Bordin et al., 2012). Pour cela, l'acquisition de données d'observations visuelles nous a permis de modéliser l'habitat préférentiel des deux communautés (laridés pélagiques et procellariidés) et des deux espèces majoritaires (sterne fuligineuse et puffin majeur) dans les eaux guyanaises, en réalisant des cartes de prédiction de densité. Ces résultats ont permis de définir des zones à forte densité d'oiseaux, qui sont pour certains sur liste rouge de l'IUCN, et donc d'y proposer des mesures de conservation adaptées. Les campagnes réalisées par OSL et Cohabys, ont permis l'obtention de 5791 kilomètres d'effort d'observation.

Ballance (1997) montre que les communautés d'oiseaux marin se structurent spatialement en fonction de quatre facteurs : (1) les contraintes énergétiques, (2) la compétition, (3) le type de proies ciblées et (4) les méthodes de chasse. Nous avons ajouté à cela (5) la période de présence dans les eaux guyanaises et avons comparé la distribution des différentes communautés et espèces étudiées à partir de ces différents facteurs, dès lors que des informations étaient disponibles dans la littérature.

4.1 La famille des laridés pélagiques

La communauté des laridés pélagiques présente une distribution identique à celle de la sterne fuligineuse (*Figure 3.4*), concentrée sur l'ensemble du talus continental et à l'ouest de celui-ci au niveau du plateau de Demerara. Toutes deux préfèrent les eaux profondes mais aussi à température élevée à la surface (*Tableau IV*). Une étude effectuée lors des campagnes REMMOA en 2009 a démontré que l'habitat préférentiel des laridés pélagiques se situait au niveau du talus continental mais aussi en zone océanique (Van Canneyt et al., 2009). Ce résultat supposerait donc que leur habitat serait plus étendu que ce que montrent nos modèles. Néanmoins une autre étude dans les eaux du Suriname, située près de la Guyane, a démontré que les sternes fuligineuses n'étaient présentes que dans

des eaux n'excédant pas 3000 mètres de profondeur (de Boer et al., 2014). La déviance expliquée pour le modèle d'habitat de la sterne fuligineuse était de 20,1% et de 15,6% pour la communauté de laridés pélagiques (Tableau IV). Les cartes de variation (Figures A.3 et A.5) indiquent qu'un faible coefficient de variation est prédit dans les zones où l'effort d'observation était quasi-inexistant, et à l'inverse important en zone côtière et au large de la zone océanique. Ces résultats attestent de la robustesse de ces modèles dans la zone d'échantillonnage sachant qu'un bon modèle est compris entre 20 et 40% de déviance expliquée et possède de faible coefficient de variation. La similitude entre la distribution de la sterne fuligineuse et celle de l'ensemble des laridés pélagiques peut être indicatrice d'un habitat commun partagé par les sternes fuligineuses, les sternes arctiques et les noddis bruns qui composent cette communauté. Néanmoins cette similitude pourrait être due à la prédominance des sternes fuligineuses (87%) au sein de la communauté de laridés pélagiques. En effet, l'étude de la distribution à l'échelle d'une communauté permet un ajout d'information lié à la présence de plusieurs espèces. Cependant la distribution est fortement influencée par la ou les espèces dominantes, au risque de gommer les différences inter-spécifiques au sein de la communauté. La sterne arctique et la sterne fuligineuse sont toutes deux des espèces migratrices, contrairement au noddie brun qui niche sur l'île du Grand Connétable (Hauselmann, 2013). Si les cartes de prédiction de densité reflétaient un habitat commun, ces trois espèces partageraient donc la même niche écologique. Cependant, d'après la littérature, elles présentent des différences majeures en termes de proies et de coût énergétique. Le coût de vol détermine les zones exploitées par les oiseaux marins : une espèce ayant un faible coût de vol exploite les milieux peu productifs alors qu'une espèce ayant un fort coût de vol exploite des milieux très productifs donc possédant une abondance en proies élevée (Ballance, 1995; Ballance et al., 1997). Quand la productivité est forte, la compétitivité entre prédateurs supérieurs devient extrêmement importante. Un vol à faible coût énergétique permet d'éviter cette compétition entre espèces en exploitant des zones moins productives. La sterne fuligineuse est l'espèce de laridés pélagiques possédant le coût de vol le plus bas. Une étude a démontré que les zones à faibles productivités étaient dominées par cette espèce (Ballance, 1995). Sa capacité de vol est donc basée sur des économies d'énergie, notamment en se laissant porter par le vent, pour couvrir de grandes zones océaniques et en favorisant ses chances de rencontre avec ses proies (Flint and Nagy, 1984; Ballance, 1995; Ballance et al., 1997; Weimerskirch et al., 2003; Mannocci et al.,

2013a). De plus, elle optimise sa recherche alimentaire en détectant les grands groupes de prédateurs marins à la surface, en particulier les bancs de thons. En effet, la journée les thons ramènent les proies en surface qui sont ensuite chassés par les sternes fuligineuses (Au and Pitman, 1986; Jaquemet et al., 2005) alors que la nuit elles chassent les calmars qui remontent à la surface (Hughes, 2014). La sterne arctique ainsi que le noddie brun ont un vol plus énergivore que la sterne fuligineuse et ne recherchent pas les mêmes proies. La sterne arctique est une espèce très flexible, elle est capable de se nourrir de proies de hautes ou basses qualités en fonction de la disponibilité. Sur l'île Machias Seal dans le Golfe du Maine, elle se nourrit de harengs de merlus blancs, de papillons de mer et larves de poissons (basse qualité) (Scopel and Diamond, 2017). Au niveau de l'île de Coquet en Angleterre, elles se nourrissent de petits poissons de moins de quatre centimètres de longueur mais aussi d'anguilles de sable et de clupéiformes (Robertson et al., 2014; Robinson and Hamer, 2000). Le noddie brun est une espèce nicheuse en Guyane qui chasse sur le talus continental (Figure 3.4). Durant les campagnes en mer il a été observé en grande majorité dans cette zone hors période de reproduction (au mois d'octobre), ce qui signifierait qu'il chasse très peu dans la zone échantillonnée durant cette période. Ses proies préférentielles dans l'océan Indien sont les poissons comme la bécasse de mer, le poisson lanterne, quelques clupéiformes ainsi que les calmars (Surman and Wooller, 2003). En Nouvelle-Calédonie, ces proies sont essentiellement des poissons au large (comme l'anchois de Buccaneer et les grands poissons pélagiques) ainsi que les calmars en zone océanique (Villard et al., 2018). Ainsi, avec des contraintes énergétiques, des proies ciblées et des périodes de présence en Guyane différentes, il est peu probable que la sterne fuligineuse, la sterne arctique et le noddie brun partagent exactement la même niche écologique. L'apparente similitude des prédictions de distribution des laridés pélagiques et des sternes fuligineuses seules est donc vraisemblablement due à la dominance de cette espèce au sein de la communauté considérée.

4.2 La famille des procellariidés

La communauté des Procellariidae est composée de puffins majeurs, puffins des anglais, puffin d'Audubon, puffins fuligineux, puffins cendrés et pétrel de Bulwer qui sont toutes des espèces pélagiques. Leur distribution est influencée par la pente, une température de

surface élevée, un milieu peu productif et un fort courant (*Figure 3.3*), ce qui correspond à la partie centrale du talus continental (*Figure 3.5*). La distribution du puffin majeur est, elle, influencée par des températures de surface élevées un milieu peu productif ainsi que des profondeurs intermédiaires (l'optimum de densité se situe à 1400 mètres) (*Figure 3.3*), ce qui correspond à la partie haute du talus (comprise entre 200 et 1500 mètres). De plus, cette espèce semble être présente sur la côte Ouest au niveau de l'embouchure du fleuve Maroni (*Figure 3.5*). La déviance expliquée pour les modèles de prédiction de cette famille et cette espèce est comprise entre 36 et 51%. Comme pour les laridés et la sterne fuligineuse, les cartes de variation (*Figures A.4 et A.6*) indiquent qu'un faible coefficient de variation est prédit sur l'ensemble du talus continental. Les modèles sont donc robustes au niveau de la zone échantillonnée. D'après ces résultats, il semblerait que les espèces de puffins ne partagent pas exactement la même niche écologique en dépit de leur présence sur le talus continental. En effet, les cartes de densités sont différentes ainsi que les paramètres environnementaux qui influencent la distribution des procellariidés et du puffin majeur. En l'absence d'éléments phénologiques et écologiques discriminants pour les espèces de puffins, les différences observées pourraient être expliquées par des périodes de présence en Guyane différentes d'une espèce à l'autre. En effet, les puffins sont des espèces migratrices qui sont présentes dans les eaux Guyanaises uniquement hors période de reproduction. Cependant, leur migration n'a pas lieu en même temps en Guyane. Le puffin majeur migre depuis les îles d'Atlantique sud (Archipel Tristan Conha et l'île Gough) d'avril à novembre et est présent en Guyane aux mois de juin et juillet ([Carboneras, 1992](#); [Snow et al., 1998](#)). Le puffin des anglais niche sur les côtes d'Angleterre et d'Irlande et migre en Amérique latine entre septembre et décembre ([Del Hoyo, 1992](#)). Enfin, le puffin d'Audubon niche au niveau des îles Açores, du Cap-Vert et de Madères. Il migre après sa période de reproduction entre fin mars et fin décembre et est présent en Guyane en juin et en juillet, tout comme le puffin majeur.

Tous ces paramètres mettent en avant l'écologie relativement différente des espèces de puffins qui fréquentent les eaux guyanaises à des périodes différentes et qui n'exploitent pas exactement les mêmes habitats du talus. De plus, une étude effectuée au large du Suriname, a montré que les espèces de puffins, notamment le puffin majeur, occupaient le talus continental mais aussi la zone océanique ([de Boer et al., 2014](#)). Ce résultat supposerait que leur habitat serait sans doute plus étendu que ce que montre notre étude.

4.3 La sterne fuligineuse et le puffin majeur

Les cartes de densité de la sterne fuligineuse (*Figure 3.4*) et du puffin majeur (*Figure 3.5*) révèlent que ces deux espèces migratrices n'exploitent pas le même habitat en Guyane française. Les paramètres influençant leur distribution sont différents (*Tableau IV*). La distribution de la sterne est influencée par des températures de surface élevées, de faibles gradients de température, d'importantes profondeurs et des pentes intermédiaires. Celle du puffin majeur est influencée par des températures de surface élevées, une faible productivité ainsi que des profondeurs intermédiaires. De plus, la sterne semble occuper l'ensemble du talus continental et une partie du plateau de Demerara alors que le puffin majeur serait présent uniquement sur le talus. Les plus fortes densités sont prédites sur la partie basse du talus continental (entre 1500 et 3000 mètres de profondeur) pour la sterne, alors qu'elles sont prédites sur la partie haute (entre 200 et 1500 mètres) pour le puffin majeur. Nos résultats indiquent donc qu'un habitat plus large serait occupé par la sterne fuligineuse par rapport au puffin majeur. Ces deux espèces migratrices n'occuperaient pas la même niche écologique ce qui s'explique par différents paramètres. Le puffin majeur chasse ses proies lors de plongée de surface en majorité (< 10 mètres) mais aussi en profondeur (jusqu'à 19 mètres) (Ronconi et al., 2010b). La sterne fuligineuse ne plonge pas et chasse les proies ramenées en surface par les bancs de thons. Leurs proies sont également différentes ; le puffin majeur cible les harengs, le krill et les calmars (Ronconi et al., 2010a). La sterne fuligineuse recherche des poissons de plus petites tailles et des calmars (Hughes, 2014). Ces différences pourraient s'expliquer par la plus grande envergure du puffin majeur (110 à 118 cm et 670 à 995 grammes) par rapport à la sterne fuligineuse (82 à 94 cm et 147 à 240 grammes). Il a été démontré que plus une espèce est légère, comme la sterne fuligineuse, plus elle exploite des habitats à faible productivité (Ballance et al., 1997), ce qui lui permet d'éviter la compétition avec d'autres prédateurs supérieurs. La sterne fuligineuse est donc toujours rencontrée dans des habitats ayant de faibles concentrations en chlorophylle (Ballance et al., 1997). Par ailleurs, le coût de vol est moindre pour la sterne fuligineuse, ce qui lui permet d'exploiter de plus grandes superficies afin d'augmenter ses chances de rencontre avec ses proies (Flint and Nagy, 1984; Ballance, 1995; Ballance et al., 1997; Weimerskirch et al., 2003; Mannocci et al., 2013a). Enfin, nous pouvons supposer que la sterne fuligineuse étant présente plus longtemps en Guyane (de janvier à octobre) par

rapport au puffin majeur (de juin à juillet), elle peut exploiter le milieu plus longtemps et donc des zones plus larges.

L'objectif de cette étude était d'identifier la ou les zones à fort enjeux de conservation au large de la Guyane. Si de précédents travaux ont mis en évidence la diversité spécifique exceptionnelle de la mégafaune marine au large de la Guyane ([Van Canneyt et al., 2009](#); [Bordin et al., 2012](#)), cette étude a permis d'identifier des zones d'intérêt particulier pour les oiseaux marins, notamment pour une espèce considérée comme en danger par l'IUCN (sterne fuligineuse). Le plateau du Demarara apparaît ainsi comme une zone écologiquement importante pour les laridés considérés ici. Le talus semble être également un habitat particulier pour ces espèces de laridés et procellariidés. En effet, ces espèces y sont présentes toute l'année (du moins du mois de janvier au mois d'octobre) et en grand nombre (jusqu'à 22 individus/km² pour la sterne fuligineuse et jusqu'à 18 individus/km² pour le puffin majeur). Le talus continental est un habitat particulier, il est relativement profond, possède de fortes pentes comparées au plateau continental et des températures de surface plus importantes qu'en zone côtière. Tous ces paramètres environnementaux en font un habitat riche en proies, c'est pourquoi les oiseaux marins y sont observés. Néanmoins, l'échantillonnage étant concentré sur le talus, il est possible qu'une partie des habitats préférentiels de cette avifaune ne soit pas prise en compte dans notre modèle. Il est donc nécessaire d'acquérir des données sur toute la zone économique exclusive de Guyane, afin de confirmer l'importance de la zone océanique pour l'avifaune marine ainsi que sur le plateau de Demarara.

Cependant de nombreuses activités anthropiques sont également présentes en Guyane : trafic maritime, pêche, prospections pétrolière et orpaillage. La question des impacts directs ou indirects de ces activités sur la grande faune marine est légitime, en particulier dans les zones à fort enjeux écologiques telles que celles mises en évidence dans cette étude. La désignation d'aire marine protégée et des mesures de gestion adaptées apparaissent comme des solutions potentielles (non exhaustives) pour la conservation des espèces menacées au large de la Guyane.

5 Conclusion

La Guyane abrite une biodiversité remarquable, notamment en oiseaux marins, du fait de la grande productivité de ses eaux de surface. Grâce aux outils de modélisation prédictive, notre étude a confirmé que le talus (entre 200 et 3000 mètres de profondeur) constitue une zone d'importance majeure pour les oiseaux marins pélagiques ainsi que le plateau de Demerara à l'ouest de celui-ci et le début de la zone océanique.

Si le nombre de données est un facteur limitant à l'utilisation de ces outils, le regroupement d'espèces proches ou partageant une niche écologique similaire peut permettre de pallier à cette limitation. En effet, les campagnes en mer étant coûteuses et contraignantes, il est souvent difficile d'obtenir un nombre de données suffisant. Cependant, même au sein de communautés d'espèces proches des différences peuvent exister, à la fois au niveau des covariables explicatives (GAMs) et dans leur distribution (cartes prédictives de densité). Lorsqu'il n'est pas possible de modéliser l'habitat à l'échelle d'une espèce, l'habitat des espèces appartenant à la même communauté peut être différencié selon leur coût énergétique lors du vol, ou les proies ciblées par une espèce, les sites et périodes de reproduction ou bien encore le temps passé sur le site d'étude notamment concernant les espèces migratrices. Il est néanmoins conseillé, lorsque c'est possible, de modéliser à l'échelle de l'espèce afin d'obtenir des cartes de densité robustes. En effet, notre étude a démontré que les espèces appartenant à la communauté de laridés pélagiques exploitaient vraisemblablement des habitats différents. Il est de même pour les espèces appartenant à la communauté des procellariidés.

Face au développement des activités anthropiques, il serait nécessaire de réguler les activités humaines au moins sur le talus continental et le plateau de Demerara, afin d'éviter la dégradation de l'habitat de ces oiseaux marins. De plus, certaines espèces sont classées « en danger » en Guyane, comme la sterne fuligineuse, la prise en compte de son habitat serait donc un bon moyen d'éviter l'extinction de cette espèce qui a déjà connu un déclin important de 1942 à 1990 ([Hughes et al., 2017](#)).

Enfin, afin de pallier aux manques de connaissances sur les espèces d'oiseaux marins faisant partie du patrimoine culturel en Guyane, il serait nécessaire de modéliser l'habitat

de plusieurs autres espèces d'oiseaux marins, comme la frégate superbe qui est « en danger » sur liste rouge de l'IUCN. Pour cela, l'obtention de davantage de données est nécessaire ce qui amènerait à une étude plus complète sur la diversité de l'avifaune présente dans les eaux guyanaises. Des mesures pourraient ainsi être prises en se basant sur l'étude des niches écologiques de plusieurs espèces d'oiseaux marins nicheurs ou bien migrateurs en Guyane. La poursuite des études est donc encouragée : cet habitat très productif comparés aux autres eaux tropicales semble en effet jouer un rôle écologique majeur pour l'avifaune.

A Annexes

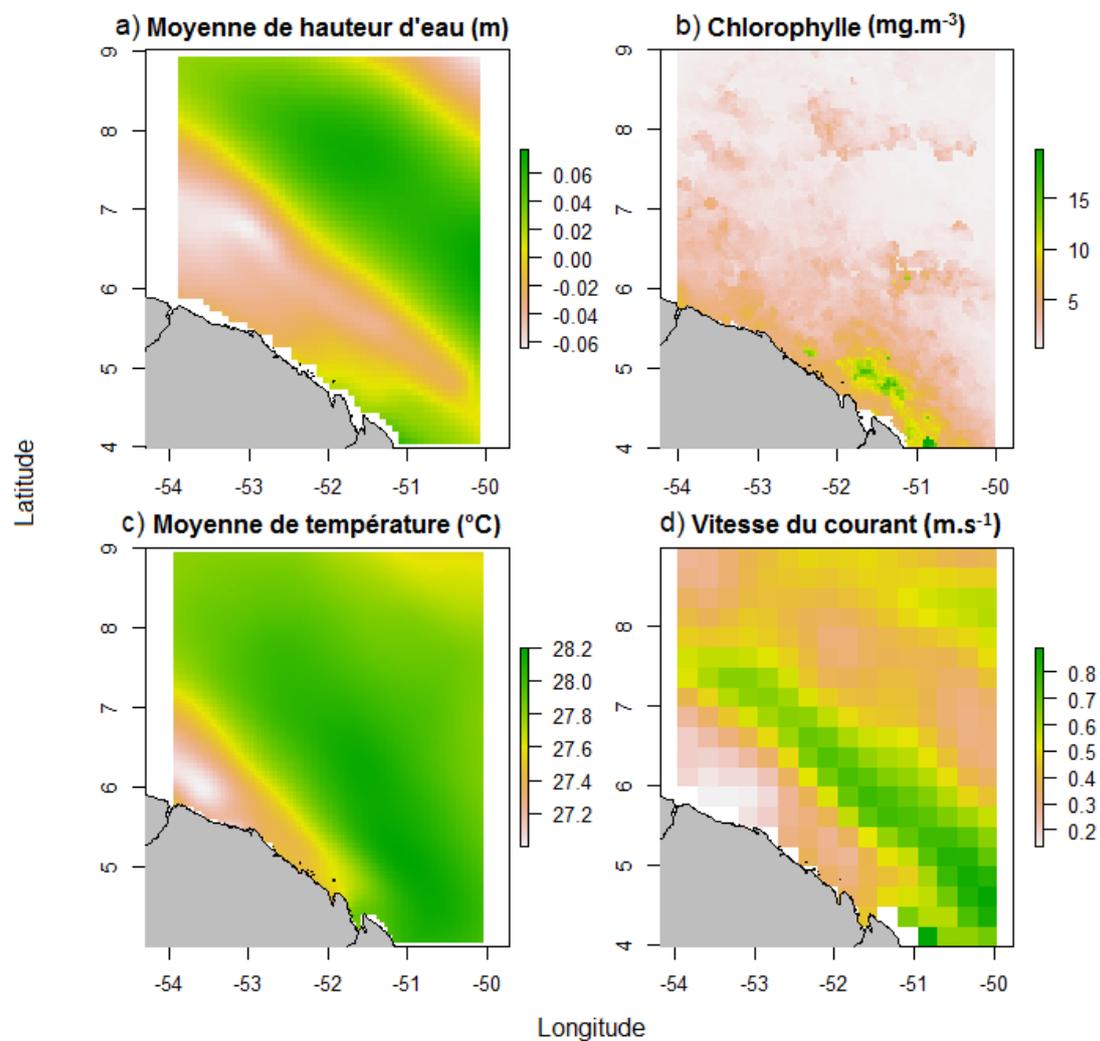


FIGURE A.1 – Représentation des variables environnementales sur dix mois de janvier à octobre 2018.

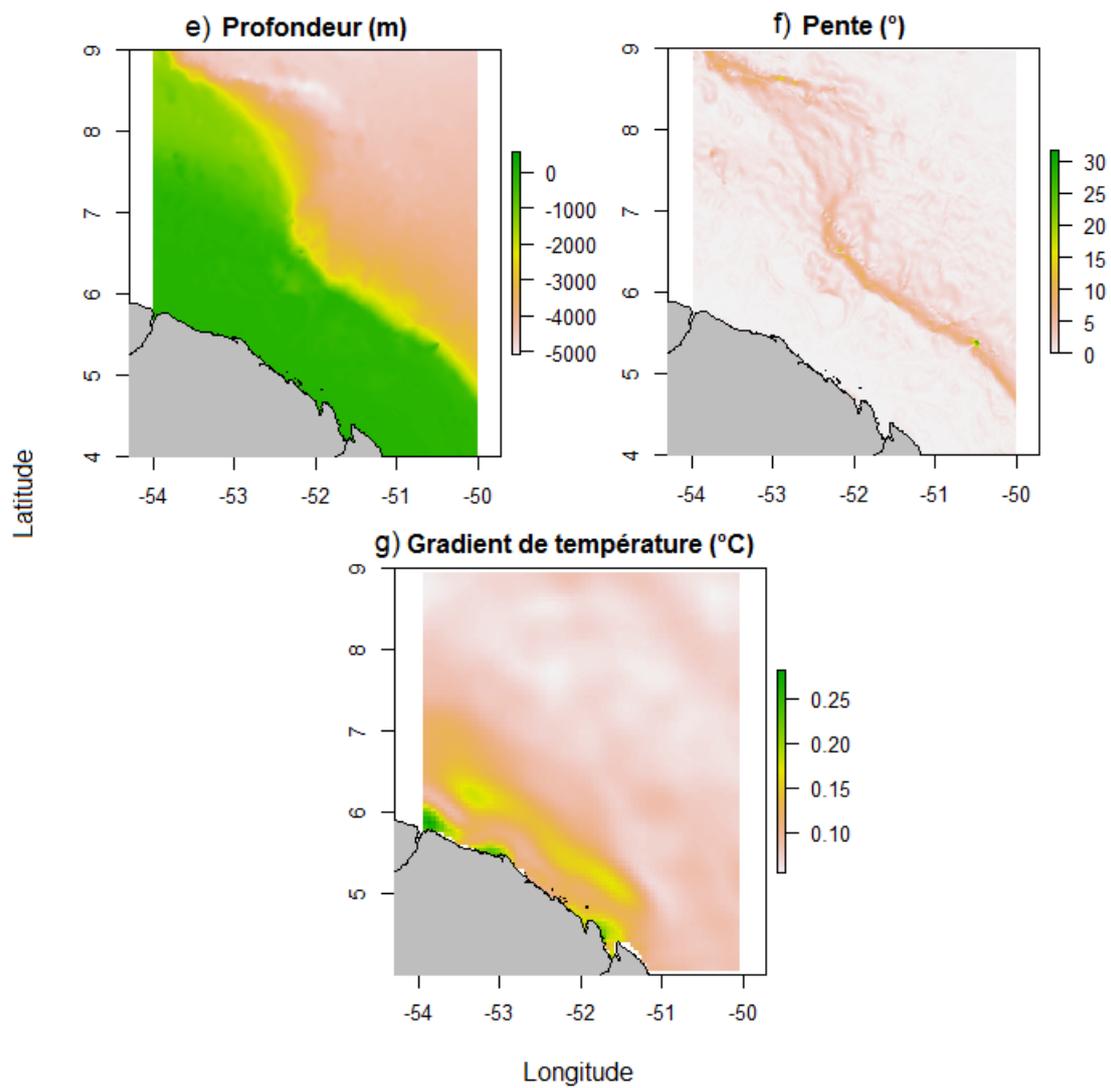


FIGURE A.2 – Représentation des variables environnementales sur dix mois (2).

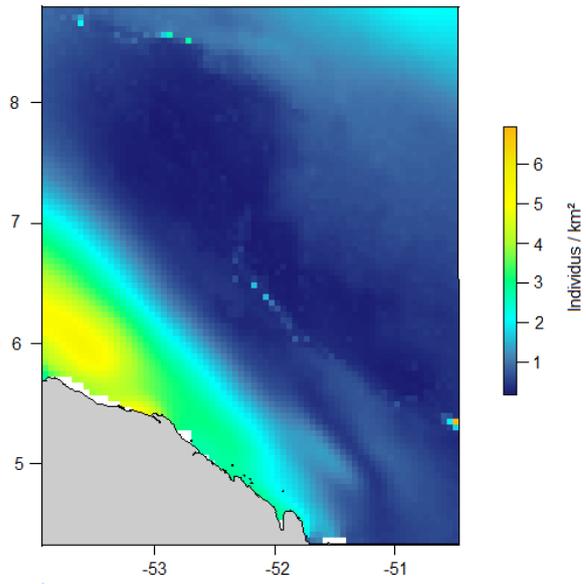


FIGURE A.3 – Coefficient de variation pour les laridés pélagiques

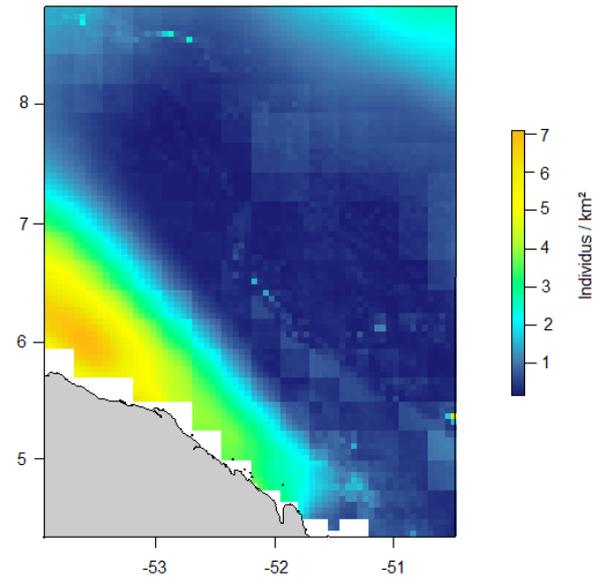


FIGURE A.4 – Coefficient de variation pour les procellariidés

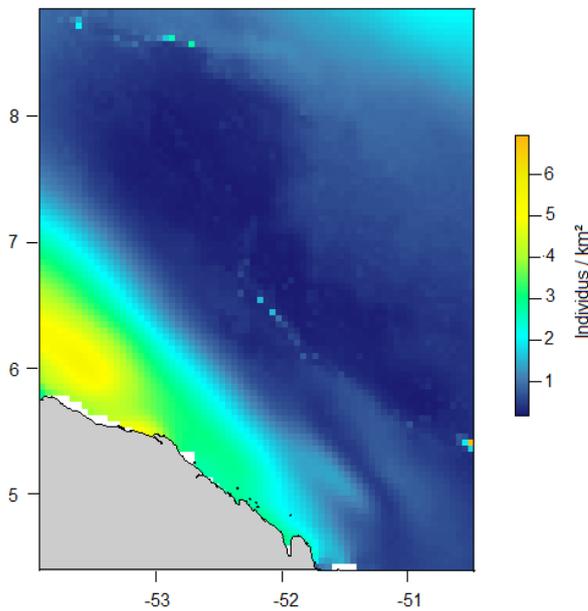


FIGURE A.5 – Coefficient de variation pour la sterne fuligineuse

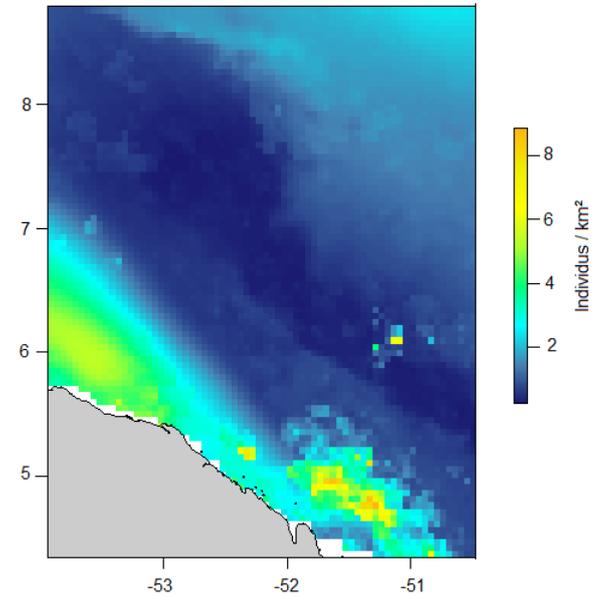


FIGURE A.6 – Coefficient de variation pour le puffin majeur

Bibliographie

- Akaike, H. (1973). Maximum likelihood identification of gaussian autoregressive moving average models. Biometrika, 60(2) :255–265.
- Arcos, J. M., Louzao, M., and Oro, D. (2008). Fisheries ecosystem impacts and management in the mediterranean : seabirds point of view. In American Fisheries Society Symposium, volume 49, page 1471. American Fisheries Society.
- Artigas, L. F., Vendeville, P., Leopold, M., Guiral, D., and Ternon, J.-F. (2003). Marine biodiversity in french guiana : estuarine, coastal, and shelf ecosystems under the influence of amazonian waters la biodiversidad marina en guyana francesa : los ecosistemas de estuarios, las costas y plataformas bajo la influencia de las aguas amazonicas. Gayana, 67(2) :302–326.
- Au, D. W. and Pitman, R. L. (1986). Seabird interactions with dolphins and tuna in the eastern tropical pacific. The Condor, 88(3) :304–317.
- Ballance, L. T. (1995). Flight energetics of free-ranging red-footed boobies (*sula sula*). Physiological Zoology, 68(5) :887–914.
- Ballance, L. T., Pitman, R. L., and Reilly, S. B. (1997). Seabird community structure along a productivity gradient : importance of competition and energetic constraint. Ecology, 78(5) :1502–1518.
- Bordin, A., De Pracontal, N., Hauselmann, A., Rinaldi, R., and Renaudier, A. (2012). Résultat des inventaires pélagiques 2011-2012. traitement et analyse des données d’observation des oiseaux marins et cétacés dans la zee guyanaise. GEPOG/DEAL. 67 pp.
- Boudou, A., Dominique, Y., Cordier, S., and Frery, N. (2006). Les chercheurs d’or et la pollution par le mercure en guyane française : conséquences environnementales et sanitaires. Environnement, Risques & Santé, 5(3) :167–179.
- Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., Laake, J. L., Borchers, D. L., and Thomas, L. (2001). Introduction to distance sampling estimating abundance of biological populations. Oxford.
- Buckland, S. T., Rexstad, E. A., Marques, T. A., and Oedekoven, C. S. (2015). Distance sampling : methods and applications. Springer.
- Burger, A. E. (2001). Diving depths of shearwaters. The Auk, 118(3) :755–759.
- Burger, J. and Gochfeld, M. (1986). Nest site selection in sooty terns (*sterna fuscata*) in puerto rico and hawaii. Colonial Waterbirds, pages 31–45.
- Carboneras, C. (1992). Family procellariidae (petrels and shearwaters). Handbook of the Birds of the World, 1 :216–257.
- Chardine, J. and Mendenhall, V. (1998). Human disturbance at arctic seabird colonies. Technical report, Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF).
- de Boer, M. N., Williams, A. C., and Saulino, J. T. (2014). Observations of pelagic seabirds in the waters offshore suriname, may-july 2012. Academic Journal of Suriname, 5 :474–491.

- Flint, E. N. and Nagy, K. A. (1984). Flight energetics of free-living sooty terns. The Auk, 101(2) :288–294.
- Flood, R. L., Simon, J., Tribot, J., and Pineau, K. (2017). A swinhoe's storm-petrel (*hydrobates monorhis*) in french guiana : the first record for south america. Revista Brasileira de Ornitologia, 25(3) :227–231.
- Froidefond, J., Pujos, M., and Andre, X. (1988). Migration of mud banks and changing coastline in french guiana. Marine Geology, 84(1-2) :19–30.
- Hauselmann, Betremieux, A. (2013). Reserve naturelle de l île du grand connétable – plan de gestion 2013-2017.
- Hughes, B. J. (2014). Breeding and population ecology of Sooty Terns on Ascension Island. PhD thesis, University of Birmingham.
- Hughes, B. J., Martin, G. R., Giles, A. D., and Reynolds, S. J. (2017). Long-term population trends of sooty terns *onychoprion fuscatus* : implications for conservation status. Population Ecology, 59(3) :213–224.
- Hughes, B. J., Martin, G. R., and Reynolds, S. J. (2008). Cats and seabirds : effects of feral domestic cat *felis silvestris catus* eradication on the population of sooty terns *onychoprion fuscata* on ascension island, south atlantic. Ibis, 150 :122–131.
- Jaquemet, S., Le Corre, M., Marsac, F., Potier, M., and Weimerskirch, H. (2005). Foraging habitats of the seabird community of europa island (mozambique channel). Marine Biology, 147(3) :573–582.
- Laake, J. and Borchers, D. (2004). Methods for incomplete detection at distance zero. Advanced distance sampling, edited by ST Buckland, DR Andersen, KP Burnham, JL Laake, and L. Thomas, pages 108–189.
- Longhurst, A. and Pauly, D. (1987). Ecology of Tropical Oceans. Academic Press, New York.
- Mancini, P. L., Serafini, P. P., and Bugoni, L. (2016). Breeding seabird populations in brazilian oceanic islands : historical review, update and a call for census standardization. Revista Brasileira de Ornitologia, 24(2) :94–115.
- Mannocci, L. (2013). Distribution of cetaceans and seabirds in tropical oceans : roles of physiographic, oceanographic and biological factors. PhD thesis, Université de La Rochelle.
- Mannocci, L., Catalogna, M., Dorémus, G., Laran, S., Lehodey, P., Massart, W., Monestiez, P., Van Canneyt, O., Watremez, P., and Ridoux, V. (2014). Predicting cetacean and seabird habitats across a productivity gradient in the south pacific gyre. Progress in Oceanography, 120 :383–398.
- Mannocci, L., Laran, S., Monestiez, P., Dorémus, G., Van Canneyt, O., Watremez, P., and Ridoux, V. (2013a). Predicting top predator habitats in the southwest indian ocean. Ecography, 37(3) :261–278.
- Mannocci, L., Monestiez, P., Bolaños-Jiménez, J., Dorémus, G., Jeremie, S., Laran, S., Rinaldi, R., Van Canneyt, O., and Ridoux, V. (2013b). Megavertebrate communities from two contrasting ecosystems in the western tropical atlantic. Journal of Marine Systems, 111 :208–222.

- Miller, D. L., Burt, M. L., Rexstad, E. A., and Thomas, L. (2013). Spatial models for distance sampling data : recent developments and future directions. Methods in Ecology and Evolution, 4(11) :1001–1010.
- Montevecchi, W. A. (2006). Influences of artificial light on marine birds. Ecological consequences of artificial night lighting, pages 94–113.
- Roberts, J. J., Best, B. D., Dunn, D. C., Tremblay, E. A., and Halpin, P. N. (2010). Marine geospatial ecology tools : An integrated framework for ecological geoprocessing with arcgis, python, r, matlab, and c++. Environmental Modelling & Software, 25(10) :1197–1207.
- Roberts, J. J., Best, B. D., Mannocci, L., Fujioka, E., Halpin, P. N., Palka, D. L., Garrison, L. P., Mullin, K. D., Cole, T. V., Khan, C. B., et al. (2016). Habitat-based cetacean density models for the us atlantic and gulf of mexico. Scientific reports, 6 :22615.
- Robertson, G., Bolton, M., Grecian, W., Wilson, L., Davies, W., and Monaghan, P. (2014). Resource partitioning in three congeneric sympatrically breeding seabirds : foraging areas and prey utilization. The Auk : Ornithological Advances, 131(3) :434–446.
- Robinson, J. A. and Hamer, K. C. (2000). Brood size and food provisioning in common terns *Sterna hirundo* and arctic terns *Sterna paradisaea* : consequences for chick growth. Ardea, 88(1) :51–60.
- Ronconi, R., Koopman, H. N., McKinstry, C., Wong, S., and Westgate, A. J. (2010a). Inter-annual variability in diet of non-breeding pelagic seabirds *Puffinus* spp. at migratory staging areas : evidence from stable isotopes and fatty acids. Marine Ecology Progress Series, 419 :267–282.
- Ronconi, R. A., Ryan, P. G., and Ropert-Coudert, Y. (2010b). Diving of great shearwaters (*Puffinus gravis*) in cold and warm water regions of the south atlantic ocean. Plos One, 5(11) :e15508.
- Scopel, L. C. and Diamond, A. W. (2017). Predation and food–weather interactions drive colony collapse in a managed metapopulation of arctic terns (*Sterna paradisaea*). Canadian Journal of Zoology, 96(1) :13–22.
- Sebastiano, M., Bustamante, P., Costantini, D., Eulaers, I., Malarvannan, G., Mendez-Fernandez, P., Churlaud, C., Blévin, P., Hauselmann, A., Dell’Omo, G., et al. (2016). High levels of mercury and low levels of persistent organic pollutants in a tropical seabird in french guiana, the magnificent frigatebird, *Fregata magnificens*. Environmental pollution, 214 :384–393.
- Snow, D. W., Gillmor, R., and Perrins, C. M. (1998). The Birds of the Western Palearctic : Non-Passerines. Oxford University Press.
- Surman, C. and Wooller, R. (2003). Comparative foraging ecology of five sympatric terns at a sub-tropical island in the eastern indian ocean. Journal of Zoology, 259(3) :219–230.
- Thomas, L., Buckland, S. T., Rexstad, E. A., Laake, J. L., Strindberg, S., Hedley, S. L., Bishop, J. R., Marques, T. A., and Burnham, K. P. (2010). Distance software : design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. Journal of Applied Ecology, 47(1) :5–14.
- Van Canneyt, O., Certain, G., Doremus, G., Laran, S., Ridoux, V., Bolanos, J., Jeremie, S., and Watremez, P. (2009). Distribution et abondance de la mégafaune marine en guyane française. Université de La Rochelle, Agence des Aires Marines Protégées.

- Villard, P., Bretagnolle, V., and Borsa, P. (2018). Segregation in diet between black noddy (*anous minutus*) and brown noddy (*a. stolidus*) from the southern lagoon of new caledonia1. Pacific science, 69(2) :197–205.
- Virgili, A. (2018). Modelling distributions of rare marine species : the deep-diving cetaceans. PhD thesis, Université de La Rochelle.
- Virgili, A., Authier, M., Boisseau, O., Cañadas, A., Claridge, D., Cole, T., Corkeron, P., Dorémus, G., David, L., Di-Méglio, N., et al. (2019). Combining multiple visual surveys to model the habitat of deep-diving cetaceans at the basin scale : Large-scale modelling of deep-diving cetacean habitats. Global Ecology and Biogeography, 28(3) :300–314.
- Virgili, A., Racine, M., Authier, M., Monestiez, P., and Ridoux, V. (2017). Comparison of habitat models for scarcely detected species. Ecological Modelling, 346 :88–98.
- Weimerskirch, H., Chastel, O., Barbraud, C., and Tostain, O. (2003). Flight performance : frigatebirds ride high on thermals. Nature, 421(6921) :333.
- Weimerskirch, H., Le Corre, M., Marsac, F., Barbraud, C., Tostain, O., and Chastel, O. (2015). Postbreeding movements of frigatebirds tracked with satellite telemetry.
- Wood, S. N. (2006). Generalized Additive Models : An Introduction with R. Chapman and Hall/CRC.

Résumé

Les eaux tropicales sont souvent associées à une faible densité de prédateurs supérieurs en raison de leur faible productivité. Cependant, les eaux guyanaises constituent un habitat particulièrement productif grâce notamment aux apports de nutriments par les fleuves. Elles abritent une communauté d'oiseaux marins diversifiée et abondante, mais encore peu étudiée, malgré l'augmentation des pressions d'origine anthropique.

L'objectif de cette étude était de contribuer à la localisation et la comparaison des habitats préférentiels des oiseaux marins pélagiques de Guyane française en se concentrant sur les deux espèces majoritaires en Guyane (la sterne fuligineuse et le puffin majeur) et les deux communautés les plus abondantes (Laridae pélagiques et Procellariidae). Notre étude a confirmé l'importance du talus continental (de 100 à 3500 mètres de profondeur) pour les oiseaux marins pélagiques présents en Guyane, et a mis en évidence l'intérêt du plateau de Demerara, situé au nord-ouest du talus. Si les résultats de la communauté des laridés pélagiques sont similaires à ceux des sternes fuligineuses, des différences apparaissent entre les différentes espèces de puffins. Cependant, la littérature a permis de mettre en avant des différences entre espèces de laridés pélagiques. Les sternes et les puffins semblent par ailleurs exploiter des zones différentes du talus.

Il est donc nécessaire de protéger ces zones en limitant les activités humaines qui s'y exercent afin d'éviter la dégradation de ces habitats clés pour l'avifaune marine pélagique présente en Guyane.

Abstract

Tropical waters are often associated with a low density of top predators due to their low productivity. However, Guyanese waters are a particularly productive habitat thanks in particular to nutrient inputs from rivers. They shelter a diverse and abundant seabird community, yet little studied, despite the increase in anthropogenic pressures.

The aim of this study was to contribute to the localization and the comparison of preferred habitats of pelagic seabirds of French Guiana by focusing on the two majority species in Guyana (Sooty tern and Great shearwater) and the two most abundant communities (pelagic Laridae and Procellariidae). Our study confirmed the importance of the continental slope (from 100 to 3500 meters deep) for pelagic seabirds in French Guiana, and highlighted the interest of the Demerara shelf, located to the north-west of the slope. If the results of the community of pelagic larids are similar to those of the sooty terns, differences appear between different species of shearwaters. However, the literature has made it possible to highlight differences between species of pelagic larids. Terns and shearwaters seem to exploit different areas of the slope.

Therefore, it is necessary to protect these areas by limiting human activities in order to avoid the degradation of these key habitats for pelagic marine avifauna present in French Guiana.