



**MASTER 2**  
**EFCE**

---

# Détermination des zones d'alimentation en mer de trois espèces d'Alcides pendant leurs périodes de reproduction sur l'île du Grand Colombier

## (Archipel de St Pierre et Miquelon)

---

Ecologie Fonctionnelle, Comportementale et Evolutive

*Mémoire de stage de deuxième année de master*



**Soutenance:** A Rennes le 20 juin 2017

**Période de stage :** 23 Janvier - 23 Juin 2017

**Structure d'accueil :** Centre d'étude biologique de Chizé –  
Office national de la chasse et de la faune sauvage (O.N.C.F.S)

**Présenté par :**

Lyna Gouichiche

**Maître(s) de stage :**

Hervé Lormee

David Pinaud

Karine Delord

Ce stage de Master2 a été mis en place grâce à une subvention accordée par la Direction des Territoires, de l'Alimentation et de la Mer (DTAM). L'ensemble des données collectées et présentées dans cette étude ont fait l'objet d'un financement accordé par la DTAM et également d'une subvention accordée dans le cadre du programme BEST 2.0.

## **REMERCIEMENTS**

---

*Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidée, de près comme de loin dans ce projet :*

*Ma reconnaissance la plus grande va avant tout à Hervé Lormee, pour son excellent encadrement, pour sa confiance, sa disponibilité, ses précieux conseils, pour sa générosité et aussi tout simplement pour m'avoir offert l'opportunité de faire ce stage.*

*Je tiens également à exprimer toute ma reconnaissance à David Pinaud et Karine Delord du CNRS pour avoir accepté de co-encadrer ce stage, merci beaucoup pour votre disponibilité, vos précieux conseils et vos remarques constructives qui ont fait évoluer mon travail.*

*Merci à toute l'équipe de l'ONCFS et particulièrement à Sylvie, Sophie, Cyril Maxime et Damien pour leur accueil et gentillesse.*

*Je remercie également tous mes coloc du CEBC et particulièrement Kevin pour avoir été toujours là quand j'avais besoin d'un conseil ou d'un coup de main mais aussi pour avoir partagé si souvent sa passion contagieuse pour le naturalisme.*

*Une pensée particulière à tous mes amis, spécialement à Youcef pour son aide et son soutien inconditionnel.*

*Enfin et surtout, merci à ma famille pour leur soutien permanent et tout leur amour. Vous êtes ce que j'ai de plus cher*

# SOMMAIRE

---

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>Matériel et méthodes.....</b>	<b>3</b>
I- Zone d'étude.....	3
II- Modèles biologiques.....	4
III- Suivi télémétrique.....	6
III – 1 : Matériel déployé.....	6
III – 2 : Capture et équipement des individus.....	7
IV- : Analyse des données.....	7
IV-1- : Préparation des données.....	7
IV-2 : Typologie des trajets.....	8
IV-3: Comparaison interspécifique.....	9
IV-4 : Définition des zones d'alimentation.....	9.
IV-5- Relation entre structure bathymétrique et zones d'alimentation des espèces...	10
<b>Résultats.....</b>	<b>11</b>
V-1 : Caractéristiques des trajets alimentaires.....	11
V-1-1 : Distance totale parcourue.....	11
V-1-2 : Durée totale des trajets.....	11
V-1-3 : Rayon de dispersion.....	12
V-1-4 : Sinuosité des trajets.....	13
V-1-4 : Proportion du temps passé en vol lors d'un trajet de nuit.....	14
V-2 : Estimation de la surface utilisée par les oiseaux en phase de prospection alimentation.....	16
VI- Relation entre la structure bathymétrique de la zone d'étude et la distribution des zones d'alimentation spécifiques.....	17
<b>Discussion.....</b>	<b>20</b>
<b>Limites et perspectives.....</b>	<b>25</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>26</b>
<b>Annexes</b>	

Tout organisme a besoin au cours de sa vie d'accéder à des ressources pour s'alimenter et se reproduire. Chez les oiseaux à l'instar des autres espèces animales, de nombreux paramètres relatifs à l'écologie, au comportement, et aux traits d'histoire de vie, s'avèrent être fortement influencés par la disponibilité locale en ressources alimentaires. Cette relation est d'autant plus forte chez les oiseaux marins qui en période de reproduction doivent effectuer des aller retours entre leurs zones d'alimentation en mer et leur site de reproduction à terre pour se nourrir et nourrir leurs jeunes. On qualifie alors ces espèces de « central place forager » (Orians & Pearson, 1979).

Lorsque les ressources sont disponibles en quantité limitée, l'individu doit faire des compromis d'allocation de ces ressources qu'il acquiert entre sa propre maintenance et sa reproduction, et il va donc développer des stratégies de recherche alimentaire. Dans cette optique la théorie de l'approvisionnement optimal prédit que les animaux vont ajuster leur comportement de manière à maximiser le gain énergétique tout en minimisant les coûts liés aux processus de recherche de la nourriture « optimal foraging theory », Mac Arthur & Pianka 1966). Un « central place forager » tel qu'un oiseau marin doit avoir un comportement optimal qui signifie passer le moins de temps possible en mer, tout en ramenant le maximum de proies. Pour ce faire, les oiseaux ont intérêt à connaître le mieux possible leur environnement, de manière à, d'une part, localiser les ressources les plus proches et les plus abondantes, et d'autre part évaluer le moment à partir duquel un site d'alimentation n'est plus « rentable ». Cependant, la stochasticité des milieux marins induit une variabilité spatiotemporelle de la disponibilité des ressources nutritives (Hunt & al, 1996), les oiseaux doivent donc s'adapter en permanence à cet environnement en perpétuel évolution. En conséquence, la distribution spatiale des effectifs des populations (Ballance et al. 1997), le choix des sites de nidification (Jouventin & Mougin 1981) et le succès de la reproduction (Brown et al. 1992) dépendent en grande partie de la distribution et de l'abondance des ressources alimentaires disponibles dans l'environnement le plus proche des sites de reproduction. De ce fait, la compréhension des stratégies liées à l'acquisition des ressources, et plus précisément la détermination des zones d'alimentation utilisées par ces espèces durant leur période de reproduction peut se révéler particulièrement pertinente, en particulier dans une perspective de mise en œuvre de mesures de conservation des espèces. Outre ces variations naturelles, les oiseaux marins subissent également des perturbations anthropiques importantes qui ajoutent une part importante d'imprévisibilité aux régimes naturels des variations océaniques (Parmesan 2006). Cela comprend le réchauffement climatique, qui résulte pour partie des activités humaines. Les zones marines Arctique et subarctique sont les plus touchées par le changement climatique global (IPCC, 2001). Ces modifications affectent

l'ensemble des systèmes biologiques et écologiques en modifiant la structure et le fonctionnement des écosystèmes de ces régions (Beaugrand & Goberville, 2010).

Les espèces étudiées ici se trouvent sur la limite sud de leur aire de distribution, où les effets des changements climatiques sont particulièrement sensibles, ce qui rend donc pertinent l'obtention d'un maximum de connaissances sur les populations d'oiseaux marins peuplant cette région. Ce travail exploratoire s'inscrit également dans un contexte original d'augmentation rapide des tailles des colonies ces dernières années, pour certaines d'entre elles.

La connaissance du fonctionnement des populations d'oiseaux marins implique entre autre de comprendre comment ceux-ci se distribuent sur le milieu marin environnant. Dans ce but, la collecte de localisations géographique par le biais de matériel embarqué sur les oiseaux peut se révéler être un outil très pratique. Nous nous proposons donc d'utiliser cette approche afin d'étudier et comparer les trajets alimentaires réalisés par trois espèces d'alcidés se reproduisant en sympatrie sur l'île du Grand Colombier, à proximité de l'archipel de Saint Pierre et Miquelon : le Macareux moine (*Fratercula arctica*), le Pingouin torda ou petit pingouin (*Alca torda*) et du Guillemot de troil (*Uria aalge*). Cette sympatrie constitue un point original de notre étude car elle permet de comparer le comportement d'espèces très proches sur le plan phylogénique confrontées au même environnement marin, et de rechercher l'éventuelle existence de mécanismes permettant de réduire la compétition interspécifique dans l'accès à la ressource alimentaire.. Parallèlement, ces données spatiales nous permettront de localiser et cartographier les zones d'alimentation utilisées pendant la reproduction, celles-ci constituant des zones cruciales pour le bon déroulement de la reproduction. Enfin, nous réaliserons une analyse préliminaire des relations pouvant exister entre l'emplacement de ces zones d'alimentation et les caractéristiques physiques locales du milieu marin, ces caractéristiques étant connues pour influencer sur la distribution des proies des oiseaux marins

Enfin, les résultats de cette étude auront pour vocation d'être mis à disposition des acteurs locaux (collectivités publiques ayant en charge les problématiques environnementales). Celles-ci pourront ainsi s'appuyer sur des données tangibles pour élaborer toutes les mesures qui s'avèreraient nécessaires concernant la gestion de l'habitat marin, en particulier s'il s'agit de concilier l'exercice des activités humaines locales, professionnelles ou récréatives, et la pérennité des colonies d'oiseaux marins.

## I- Zone d'étude :

L'archipel français de Saint Pierre et Miquelon se situe dans l'Atlantique Nord-Ouest (région subarctique) à environ 250 km à l'Est des côtes de la Nouvelle Écosse (Canada) et 20 km de la côte Sud de Terre-neuve, par 47° de latitude Nord et 56° de longitude Ouest (fig.1). L'archipel se caractérise par un climat de type océanique froid. La température moyenne annuelle est de 5.4°C. Les précipitations sont régulières et atteignent en moyenne 1258 mm/an. La vitesse des vents atteint en moyenne 20 à 30 km/h avec 156 jours de vent violents par ans, principalement d'octobre à avril.

L'île du « Grand Colombier » (46°49 N, 56°10 W), d'une superficie de 0.5 Km<sup>2</sup>, se situe à environ 500 m au Nord de l'île de Saint-Pierre (fig.1). Le couvert végétal, modelé par le vent, est dominé par des fougères, (essentiellement: *Dryopteris spinulosa*), et des graminoides (principalement : *Deschampsia flexuosa*. (Lormée & al. 2012)., Cette île bénéficie de l'absence de prédateurs terrestres introduits et accueille plusieurs espèces d'oiseaux marins nichant au sol ou en terrier. Ce site héberge en fait la plus grande part de la population avienne marine de l'archipel. Ainsi, pendant la période estivale, 16 espèces d'oiseaux marins se reproduisent sur cette île (à voir annexe ; tab.1) dont 4 espèces d'alcidés : le macareux moine (*Fratercula arctica*), le pingouin torda (*Alca torda*), guillemot de troil (*Uria aalge*) et guillemot à miroir (*Cephus grylle*).

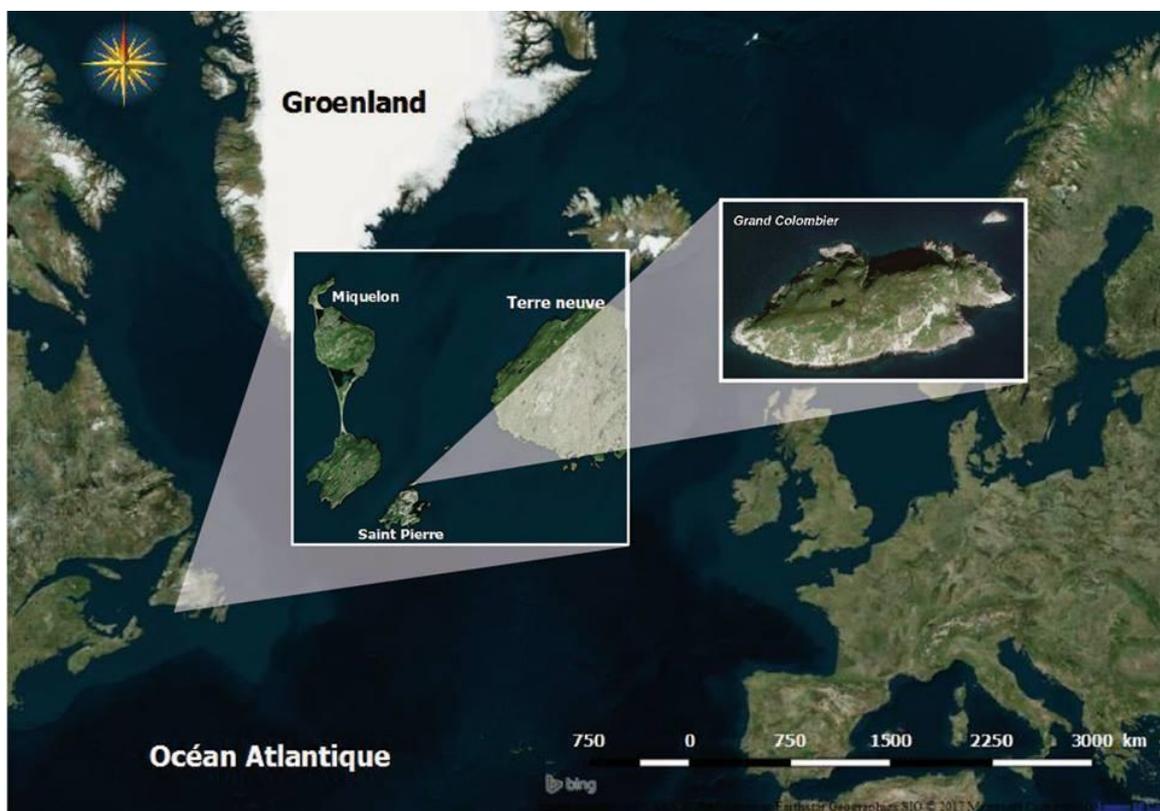


Fig.1 : Situation géographique de la zone d'étude, Grand Colombier.

## II- Modèles biologiques :

Les trois espèces d'oiseaux marins étudiées appartiennent à la famille des alcidés. Il s'agit du pingouin torda, du guillemot de troïl et du macareux moine (tab.2). Ces espèces comptent parmi les plus communes du Grand Colombier, et ont été choisies en raison de leur grande vulnérabilité aux perturbations anthropiques (Piatt & al, 1990). D'autre part, ces espèces, ont récemment sensiblement augmenté, ceci étant particulièrement spectaculaire chez le guillemot de troïl (Lormée 2015), (probablement suite à l'immigration d'individus provenant des colonies voisines de Terre Neuve) faisant des populations de ces trois espèces les plus importantes à l'échelle nationale (UICN, 2016). Enfin cela permet de travailler sur 3 espèces issues d'une même famille, avec une écologie assez similaire, et sympatriques pendant la reproduction.

Ces espèces sont inféodées à l'hémisphère Nord. Oiseaux plongeurs, ils nichent en colonies plus ou moins denses. Espèces monogames, les deux sexes participent à la couvaison et au nourrissage des jeunes (Del Hoyo et al. 1996). Pendant l'incubation, les deux parents alternent leur séjour sur le nid. A ce stade, les voyages alimentaires se font exclusivement au profit des parents. Après l'éclosion, ils doivent effectuer des allers et retours pour se nourrir mais aussi apporter la nourriture nécessaire à leur unique poussin. Cette période d'alimentation du poussin à terre s'étale sur quelques semaines (fig. 2). Elle débute par une phase de garde du poussin (ou « *brooding* ») où le poussin, pas encore indépendant thermiquement, est couvé en permanence par les parents. Au-delà de cette période, le poussin peut rester seul au nid ou dans le terrier en attendant d'être nourri. Au bout de 3 semaines environ selon les espèces (fig.2) les poussins du guillemot et pingouin, encore inaptes au vol, sautent de la falaise pour suivre le mâle adulte en mer, qui poursuit leur nourrissage pendant environ 2 mois jusqu'à l'émancipation complète du poussin. Le poussin du macareux moine, en revanche, n'est nourri qu'à terre, et rejoint seul la mer (Del Hoyo & al, 1996).



**Fig.2 : Cycle biologique des 3 espèces étudiées sur le Grand Colombier**

(Références : Letournel, comm. Pers ; Del Hoyo et al. 1996 ; Barrett, 1984 ; Mahoney & Threlfall, 1981).

**Tab.2 : Description comparative des modèles biologiques**

	<b>Guillemot de troïl</b>	<b>Pingouin torda</b>	<b>Macareux moine</b>
<b>Taille (cm)</b>	38– 43	37 – 39	26-36
<b>Poids (g)</b>	945-1044	500- 890	460
<b>Envergure (cm)</b>	64 à 71	63-66	47-63
<b>Alimentation</b>	capelan ( <i>Mallotus villosus</i> ), hareng ( <i>Clupea harengus</i> ), lançon ( <i>Ammodytes spp.</i> ), crustacés, mollusque et polychètes		
<b>Site de nidification</b>	à même la roche	crevasses rocheuses	terriers
<b>Taille de ponte</b>	1 œuf		

Référence : Del Hoyo & al. 1996

## III- Suivi télémétrique :

### III – 1 Matériel déployé

Les localisations des oiseaux ont été obtenues grâce au déploiement de GPS (Global Positioning System). Dans le cadre de notre étude, 2 types de GPS ont été utilisés (tab.3). Le choix d'un modèle de GPS spécifique pour le macareux moine, a été dicté par la difficulté de recapture de cette espèce. Une fois équipé, l'oiseau tend à devenir plus craintif, rendant incertaine la récupération du matériel. Plusieurs types de données sont fournis par les GPS : les coordonnées géographiques (latitude et longitude), altitude, date, et heure des localisations et la vitesse instantanée de celles-ci.

**Tab.3 : Description comparative du matériels GPS**

	<b>Guillemot de troil</b>	<b>Pingouin torda</b>	<b>Macareux moine</b>
<b>Type GPS</b>	CatLog-S		Pathtrack
<b>Masse (g)</b>	8		5
<b>Fonctionnement</b>	batterie rechargeable		batterie + panneaux solaires
<b>Téléchargement des données</b>	connexion USB entre GPS et ordinateur		transmission UHF vers une station automatique
<b>Fréquence d'acquisition</b>	vitesse < 20 km/h : 5 min vitesse > 20 km/h : 1min		1 localisation/5 min
<b>Nb GPS déployés</b>	13	8	14
<b>Nb GPS récupérés</b>	7	7	6*
<b>Taux de récupération</b>	53.85	87.5	42.85
<b>Nombre de localisation enregistrée</b>	3728	4702	1274
<b>Nbr de trajets alimentaire</b>	57	39	66

\* dans ce cas précis, correspond au nombre de GPS pour lesquels des données ont pu être téléchargées

## III – 2 Capture et équipement des individus

Les individus capturés et équipés sont des adultes reproducteurs en fin d'incubation ou en début d'élevage (« brooding »). A ce stade, les 2 partenaires alternent encore des séjours au nid de plusieurs heures pour couvrir l'œuf ou le poussin, ce qui facilite la capture des individus et surtout leur recapture. Passée cette période, les adultes restent à terre uniquement pour nourrir le poussin et sont donc beaucoup plus difficiles à recapter.

Dans le cas des oiseaux nichant en terrier ou dans des cavités rocheuses fermées (pingouins et macareux) la capture s'est faite à la main. Les guillemots étant agglomérés en groupes parfois de plusieurs dizaines d'individus, leur capture s'est faite à distance, à l'aide d'une canne en fibre de carbone de 5 m, munie d'un nœud coulant. Le nœud est passé autour de la tête de l'oiseau et se resserre via la traction exercée par l'observateur sur la canne, l'oiseau est ainsi extrait et manipulé hors de la colonie.

Les recaptures des oiseaux équipés ont lieu au plus tôt 3 jours après la pose du GPS chez le pingouin et le guillemot. Chez le macareux, la recapture n'est pas nécessaire, les données sont téléchargées plusieurs fois par jour par la station automatique installée sur la colonie.

## IV Analyse des données :

### IV-1 Préparation des données :

Notre analyse a porté sur les localisations obtenues à partir de 20 GPS (7 guillemots, 7 pingouins, 6 macareux ; cf. tab 3). Une première étape a consisté à effectuer un premier filtrage des données afin d'éliminer les localisations jugées aberrantes (localisations successives où la vitesse moyenne est supérieure à 0 km/h alors que les localisations présentent exactement les même coordonnées). Les trajets en mer ont ensuite été identifiés et individualisés. Pour ce faire, nous avons estimé que l'oiseau équipé devait être localisé au-delà d'un rayon minimal de 50 m autour du nid, pour considérer qu'il avait quitté le nid. A contrario, les localisations inférieures à ce rayon sont considérées comme des localisations « au nid ».

Dans une seconde étape, nous avons discriminé les trajets alimentaires et non alimentaires. Pour ce faire, nous avons réalisé un tri en utilisant 3 critères distincts présentés ci-dessous. Si au moins l'un de ces critères est vérifié, le trajet sera considéré comme non alimentaire et donc exclus des analyses:

1. La vitesse moyenne (calculée) de déplacement: nous avons fixé un seuil de 20 km/h, au-delà duquel l'oiseau est considéré en vol. En deçà, l'oiseau est considéré comme posé

en mer, et donc potentiellement en phase d'alimentation. Par conséquent, les trajets comportant uniquement des localisations associées à des vitesses élevées (>20km/h) ne sont pas considérés comme des trajets de prospection alimentaire.

2. La distance au nid : nous avons établi un rayon minimal de dispersion en mer par rapport au nid. Ce seuil est compris entre 150-370 m selon l'emplacement sur l'île des colonies où ont été équipés les oiseaux. La limite en mer de ces seuils est fixée de façon arbitraire : nous avons considéré que les surfaces marines au contact de l'île où les fonds marins étaient visibles sur des images satellites (« GOOGLE Earth »), ne pouvaient être utilisées comme zone d'alimentation potentielle, la colonne d'eau étant trop peu profonde, et les espèces proies typiques (capelans et lançons) virtuellement absentes de ces secteurs. Les trajets doivent donc dépasser cette distance minimale pour être considérés comme des trajets alimentaires. Dans le cas contraire, ils sont également exclus de l'analyse..

3. La durée totale du trajet : nous avons calculé la durée de chaque trajet. Tous ceux dont la durée est inférieure à 10 minutes sont exclus, car jugés trop courts pour permettre une activité d'alimentation.

Les GPS déployés ne fournissent pas d'informations sur l'activité de plongée, de ce fait, il subsiste un risque de confusion entre les individus en phase de repos/toilettage sur l'eau avec ceux réellement en train de s'alimenter.

### IV-2 Typologie des trajets

Afin de décrire les trajets alimentaires, nous avons calculé pour chaque espèce les métriques suivantes :

1. Distance totale parcourue (km): La distance totale parcourue par l'animal entre son départ du nid et son retour.
2. Rayon maximal de dispersion (km) : La distance maximale parcourue en ligne droite lors d'un trajet entre le point de départ et le point le plus éloigné du nid.
3. Durée totale des trajets (h) : Durée du trajet entre son départ et son retour au nid.
4. Sinuosité des trajets : Rapport entre le rayon maximal de dispersion et la distance totale parcourue par le trajet. Plus le ratio tend vers 1, moins le trajet est sinueux.
5. Proportion du temps passé en vol lors d'un trajet de nuit (%): cette information est pertinente, car elle nous permet de savoir si les oiseaux s'alimentent la nuit. Ainsi, si l'oiseau passe moins de temps en vol, cela peut signifier qu'il est en phase d'alimentation sur l'eau (la possibilité de confondre subsiste entre cette activité avec celle liée au repos sur l'eau ou le toilettage).

## IV-3 : Comparaison interspécifique

Nous avons testé l'existence d'éventuelles différences interspécifiques dans la typologie des trajets alimentaires, sur la base d'un modèle linéaire généralisé mixte avec une distribution de poisson. Un modèle linéaire généralisé mixte (GLMM) est un modèle linéaire généralisé (GLM) intégrant un effet aléatoire (McCullagh et Nelder 1989). Nous avons opté pour ce type d'analyse pour 2 raisons :

1. Les variables à prédire (variables réponses) telles que la durée, distance, sinuosité et rayon de dispersion des trajets ne suivent pas une distribution normale.
2. Ce modèle permet de tenir compte des pseudos-répliques présentés par certaines variables explicatives, ici l'individu (Lewis & al, 2002). La variable espèce est donc considérée comme un effet fixe et la variable individu comme un effet aléatoire, l'équation du modèle s'écrit comme suite :

$$Y \sim \text{espèce} + (1|\text{individu})$$

## IV-4 : Définition des zones d'alimentation

Afin de localiser les zones de prospection alimentaire, estimer leurs surfaces et effectuer des comparaisons interspécifiques, nous avons utilisé la méthode des Kernel, développée par Worton (1989). Celle-ci est considérée comme l'une des meilleures approches pour l'estimation des domaines vitaux (ROGER & POWELL, 2000), dans notre cas l'estimation des zones de prospection alimentaire en mer. Cette méthode, nous a permis de délimiter et estimer la surface de ces zones en se basant sur une probabilité de densité de présence (ROGER & POWELL, 2000). Deux seuils de densité de Kernel ont été utilisés (95% et 50%) : le seuil de 95% permet d'estimer l'ensemble des zones de prospection alimentaire en excluant les points marginaux, le seuil de 50 % permet d'estimer le cœur de cette zone, où l'on retrouve la plus forte densité de distribution.

### Choix de la méthode Kernel et du coefficient de lissage ( $h$ ) :

Le paramètre de lissage ( $h$ ) est un paramètre qui contrôle le poids de la fonction Kernel placé sur chaque point de la distribution ; c'est une composante importante de l'estimation des surfaces de densité : plus celui-ci est grand, et moins l'estimation des zones d'alimentation est précise (Getz et Wilmers. 2004). Les deux méthodes les plus couramment utilisées pour le calcul du paramètre de lissage sont : le facteur de lissage de référence (HREF) et la méthode des moindres carrés (least-squares cross-validation - HLSCV) (Worton 1989). Dans notre cas, nous avons utilisé la méthode du HREF en raison de sa large utilisation par les biologistes dans ce genre d'étude. Le même paramètre de lissage a été

appliqué pour toutes les espèces en se basant sur une valeur moyenne. Seules les données de localisation dont la vitesse moyenne était inférieure à 20 km/h ont été utilisées (cf annexe IV-1), car on considère que l'oiseau est alors posé et potentiellement en phase d'alimentation. Au-dessus de ce seuil de vitesse, l'oiseau est considéré en vol et non en phase d'alimentation.

Ces analyses ont été réalisées à l'aide du package « *adehabitat* » (auteur : Clément Callenge) dans le logiciel R (version 3.3.3), et l'illustration cartographique des Kernels a été réalisée à l'aide du logiciel QGIS (version 2.18.3).

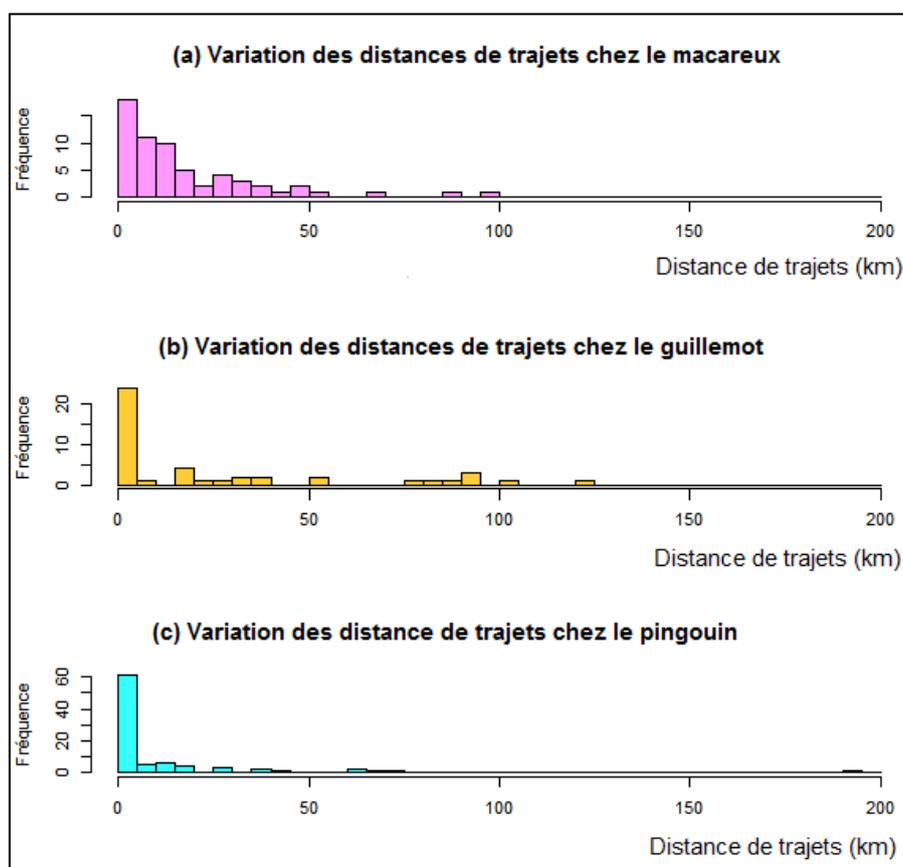
### IV-5- Relation entre structure bathymétrique et zones d'alimentation des espèces :

La bathymétrie (profondeur des fonds marins) influe sur la circulation des courants marins et des nutriments qu'ils véhiculent, et donc par voie de conséquence sur toute la chaîne trophique, jusqu'aux prédateurs supérieurs. Par ailleurs, certaines espèces proies peuvent être préférentiellement inféodées à certains types de bathymétrie en raison de l'effet qu'exerce cette dernière sur la distribution des nutriments. Dans le cas de notre étude, nous n'avons pas d'hypothèse *a priori*, mais nous cherchons à savoir dans une 1<sup>ère</sup> étape si les oiseaux privilégient une certaine bathymétrie ou pas. Nous avons donc mis en relation les données bathymétriques de notre zone d'étude et les données de géo-localisation des espèces étudiées. Les limites de la zone d'étude ont été définies par rapport au rayon maximal de dispersion des espèces étudiées, considérant qu'elles ne pouvaient, dans la période couvrant l'étude, aller au-delà de ces limites géographiques. Nos données ne suivant pas une distribution normale, nous avons eu recours au test de Kolmogorov Smirnov pour comparer la distribution de la bathymétrie rencontrée sur la zone d'étude par rapport à celle associée aux localisations des oiseaux en mer. Nous n'avons utilisé que les localisations *a priori* associées à des activités alimentaires (vitesse de déplacement <20 km/h). Les données bathymétriques ont été aimablement fournies par Pascal Lazure « Ifremer », sous forme d'un fichier raster (source: [http://www.gebco.net/data\\_and\\_products/gridded\\_bathymetry\\_data](http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data)) dont chaque pixel correspond à une cellule de 920 mètres de côté.

## V-1 Caractéristiques des trajets alimentaires

### V-1-1 : Distance totale parcourue :

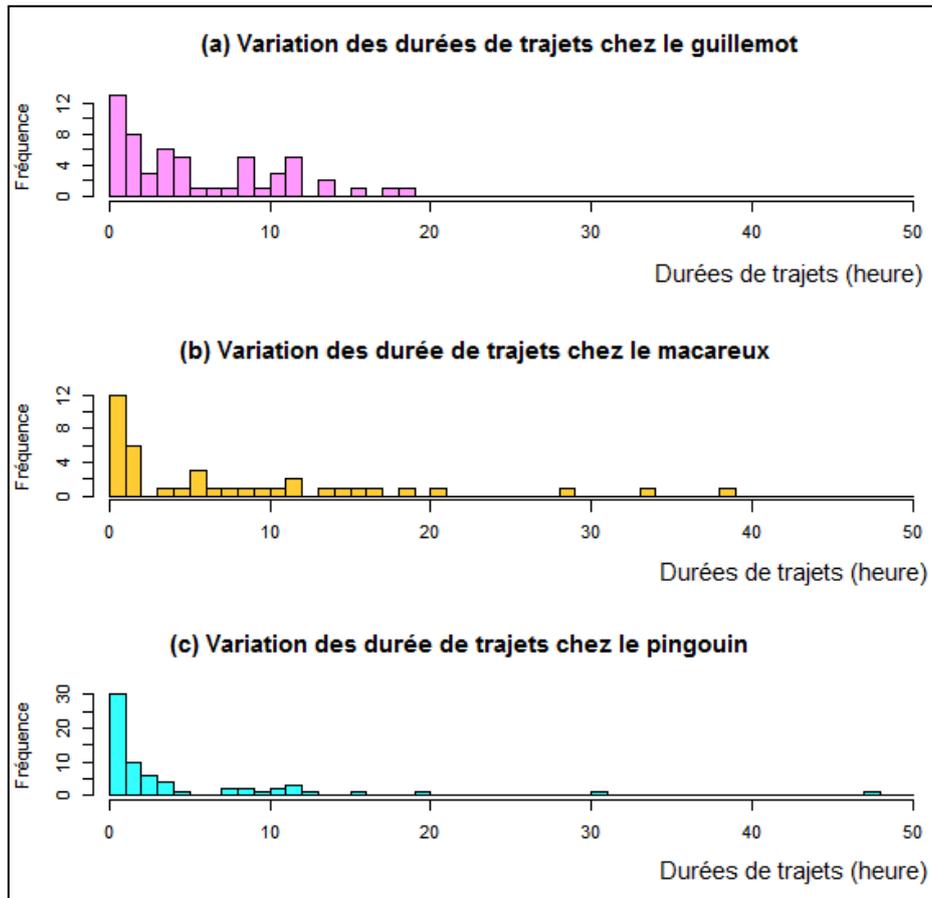
Les distances totales parcourues ne diffèrent pas significativement entre les espèces (tab.5) même si le macareux tend en moyenne à parcourir de plus grandes distances que les 2 autres espèces ( $26 \pm 35.4$  km ; tab.4)., On peut noter qu'une majorité de trajets sont effectués sur de courte distance (0-5 km). La valeur maximale de distance parcourue est observée chez le Pingouin torda (192 km; tab.4).



**Fig.2 : Variation des distances totales parcourues**

### V-1-2 : Durée totale des trajets:

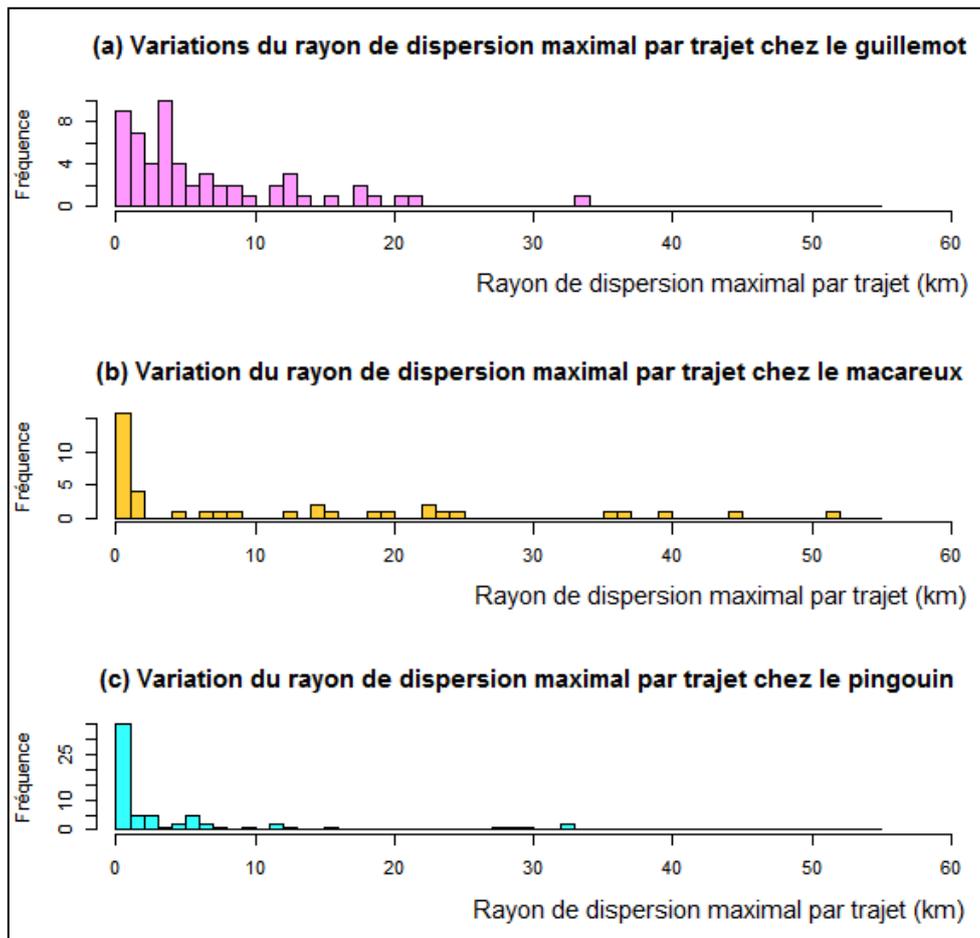
Les durées des trajets alimentaires ne diffèrent pas significativement entre espèces (tab.5), même s'il y a une tendance à ce que les macareux partent en moyenne plus longtemps ( $6.8 \pm 9.2$  h). La durée maximale est observée chez le Pingouin torda (47,5h; tab.4). Pour les trois espèces, la plupart des trajets durent moins d'une heure (fig.3).



**Fig.3 : variation des durées totales de trajet**

### V-1-3 : Rayon de dispersion :

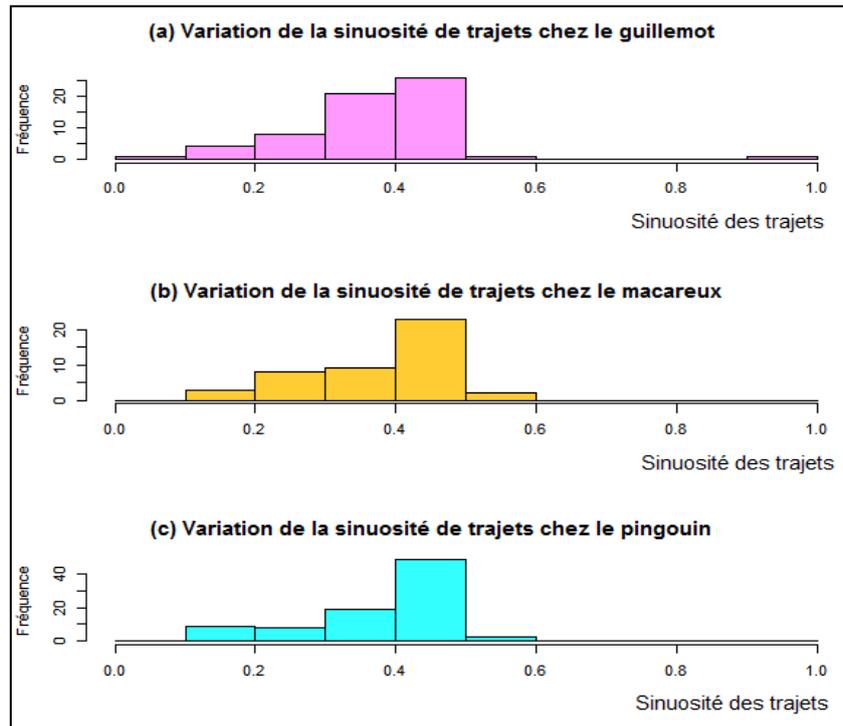
Il n'existe pas de différence significative entre espèces du rayon maximal de dispersion (tab.5), même si le macareux tend à prospecter en moyenne dans un rayon plus important que les deux autres espèces ( $9.7 \pm 13.8$  km ; tab.4). La valeur extrême est observée chez le macareux (51,2 km; tab.4), le pingouin et le guillemot présentant des valeurs extrêmes comparables (33,2 et 33,7 km respectivement; tab.4). On peut noter que le guillemot prospecte le plus souvent dans un rayon inférieur de 4 km, le pingouin et le macareux dans un rayon inférieur à 1 km (fig.4).



**Fig.4 : Variation du rayon de dispersion maximal par trajet.**

#### V-1-4 : Sinuosité des trajets :

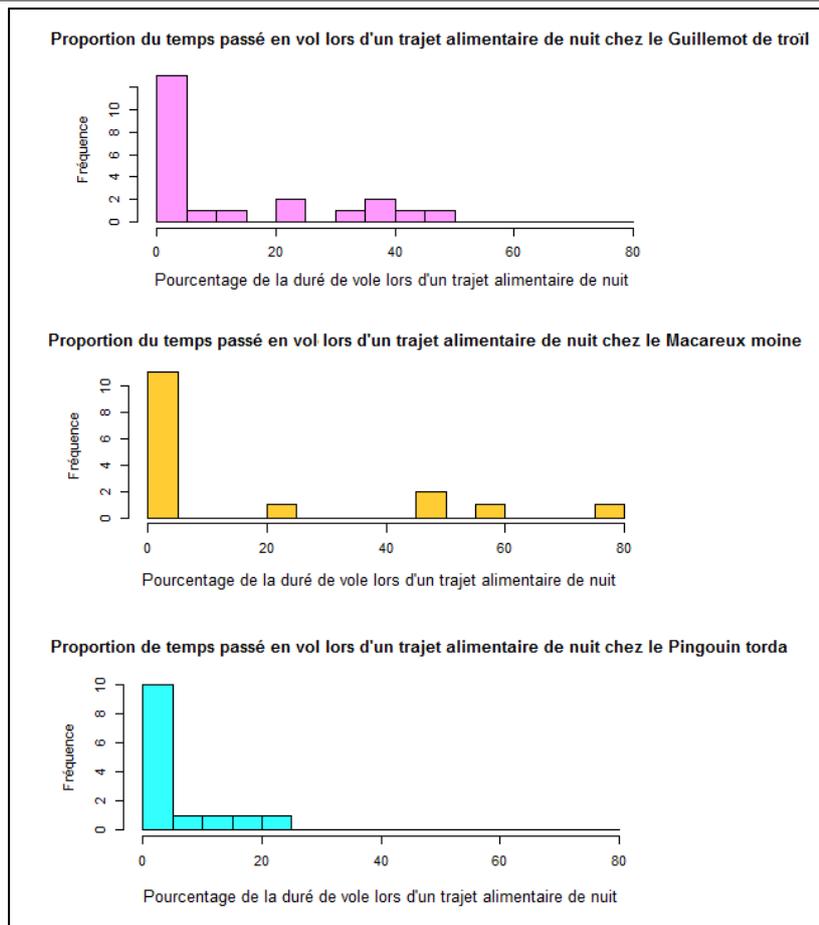
Il n'y a pas de différence significative entre les 3 espèces par rapport à la sinuosité de leur trajet (tab.5), le ratio moyen étant compris pour les 3 espèces entre 0.3 et 0.4 (fig.4). Nous observons cependant chez le guillemot quelques trajets très peu sinueux avec un ratio de 0.9 contrairement aux 2 autres espèces où le ratio ne dépasse guère 0.5. Les trajets les plus sinueux sont représentés par un ratio de 0.2 chez le macareux et le pingouin et un ratio de 0.1 chez le guillemot (tab.4).



**Fig.5 : Variation de la sinuosité des trajets.**

#### V-1-4 : Proportion du temps passé en vol lors d'un trajet de nuit:

La proportion du temps passé en vol lors des trajets alimentaires nocturnes diffèrent significativement entre les trois espèces (tab.4). Le pingouin passe en moyenne moins de temps en vol ( $4.32 \pm 7.55 \%$  ; annexe, tab.4) que les deux autres espèces (guillemot :  $12.62 \pm 17.15$  ; macareux :  $16.43 \pm 26.96$  ; tab.4). De manière générale, selon la distribution observée sur la fig.6 les trois espèces passent moins de 5% de leur temps en vol lors d'un trajet de nuit. La valeur maximale est observée chez le macareux avec 78.68% (tab.4).



**Fig.6 : Proportion en pourcentage du temps passé en vol lors d'un trajet de nuit**

**Tab.4 : Synthèse des métriques calculées sur les trajets alimentaires**

Espèce	Distance totale trajet (km)					Durée totale trajet (heure)				
	max	min	moy	$\delta$	med	max	min	moy	écartype	med
<b>Macareux</b>	123,91	0,36	29,80	36,62	16,94	38,74	0,33	7,80	9,53	4,50
<b>Guillemot</b>	99,05	0,52	19,08	20,53	11,93	18,84	0,08	5,49	4,92	3,84
<b>Pingouin</b>	192,32	0,33	13,76	28,18	3,15	47,55	0,08	4,30	7,69	1,41
Espèce	Rayon dispersion (km)					Sinuosité trajet				
	max	min	moy	$\delta$	med	max	min	moy	écartype	med
<b>Macareux</b>	51,20	0,12	11,05	14,32	1,33	0,52	0,14	0,37	0,11	0,41
<b>Guillemot</b>	33,24	0,24	6,49	6,64	3,94	0,93	0,09	0,37	0,12	0,38
<b>Pingouin</b>	32,65	0,16	4,63	8,13	0,89	0,52	0,10	0,38	0,11	0,42
Espèce	% Temps passé en vole lors d'un trajet alimentaire de nuit									
	max	min	moy	écartype	med					
<b>Macareux</b>	78,68	0,00	16,43	26,96	21,70					
<b>Guillemot</b>	49,86	0,00	12,62	17,15	1,82					
<b>Pingouin</b>	21,64	0,00	4,32	7,55	0,00					

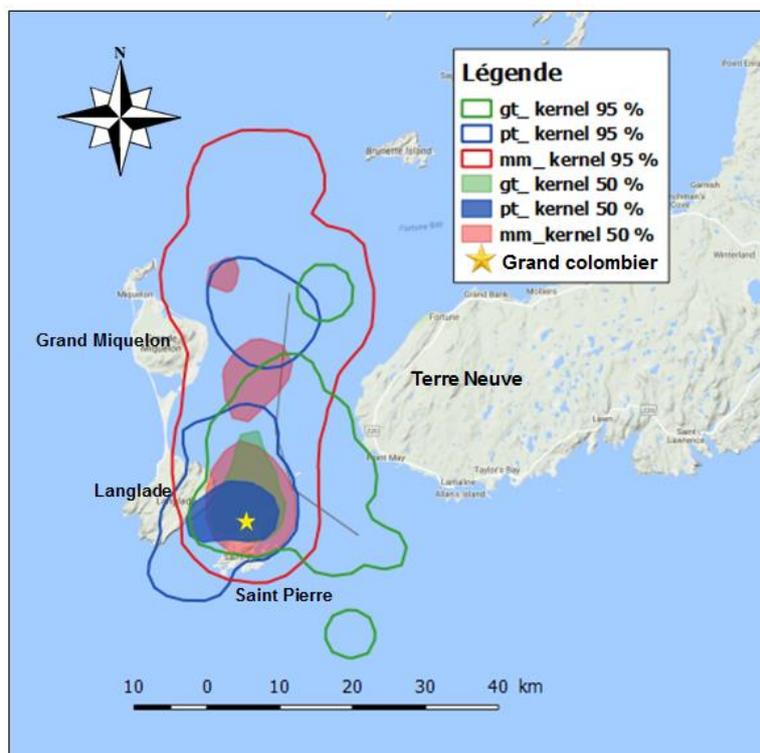
**Tab.5 : Résultats de l'analyse par GLMM :**

Variable testées	Chisq Chi	Df	Pr(>Chisq)
Rayon de dispersion	0.4027	2	0.8176
Distance de trajet	0.2306	2	0.8911
Durée de trajet	1.1955	2	0.55
Sinuosité de trajet	4.2013	2	0.1224
<b>Proportion de la durée de vole lors d'un trajet de nuit</b>	7.0163	2	<b>0.02995</b>

**V-2 : Estimation de la surface utilisée par les oiseaux en phase de prospection alimentaire :**

Les données de localisation nous permettent d'estimer la surface des zones d'alimentation utilisées par les trois espèces par la méthode des Kernels (fig. 6).

Les zones de prospection alimentaire utilisées par les trois espèces (Kernel à 95%) sont principalement localisées au nord de la zone d'étude et sont délimitées par Terre Neuve à l'Est et au nord-est, Miquelon et Langlade à l'Ouest et Saint Pierre au Sud. Au sein de ce périmètre, le macareux semble plus s'étendre vers le nord, tandis que le guillemot s'étend plus en direction de l'Est/sud-est et le pingouin en direction sud-ouest (fig.6). Le cœur des zones prospectées (Kernel à 50%) se situe exclusivement au Nord de Saint Pierre pour les 3 espèces.



**Fig.6 : Cartographie des zones d'alimentation par la méthode des Kernels (à 95 et 50%) chez le Pingouin torda (Pt), le Guillemot de Troil(Gt) et le Macareux moine (Mm)**

La zone d'alimentation du macareux est notablement plus large que celle des deux autres espèces. Nous notons également un chevauchement important de ces zones d'alimentation entre les 3 espèces (fig.6 et tab.7), que ce soit pour les Kernels à 95% ou même à 50%. Pour les Kernels à 95% ce taux de recouvrement varie de 42 à 89%, et il oscille entre 50 et 99% pour les Kernels à 50%.

**Tab.6 : Superficie des zones d'alimentation (km<sup>2</sup>) (méthode de Kernel)**

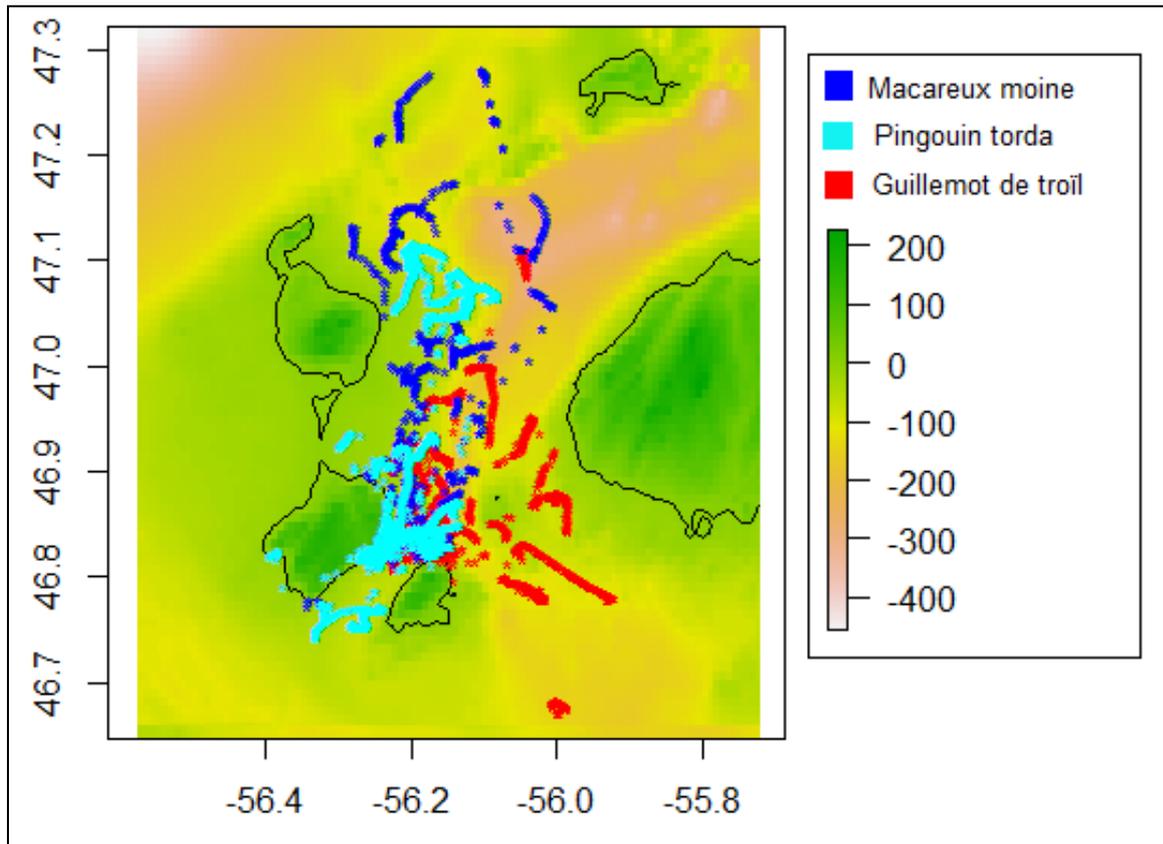
Espèces	Kernel à 95%	Kernel à 50%
<b>Guillemot</b>	532,6	52,5
<b>Pingouin</b>	523,3	88,5
<b>Macareux</b>	1237,3	257,2

**Tab.7 : Estimation des chevauchements en espèces (en %) des zones d'alimentation**

Espèces	Kernel à 50%			Kernel à 95%		
	Gt	Pt	Mm	Gt	Pt	Mm
<b>Guillemot</b>	-	52,4	20,2	-	42,3	31,5
<b>Pingouin</b>	88,3	-	26,1	41,6	-	37,5
<b>Macareux</b>	99,0	75,8	-	73,2	88,7	-

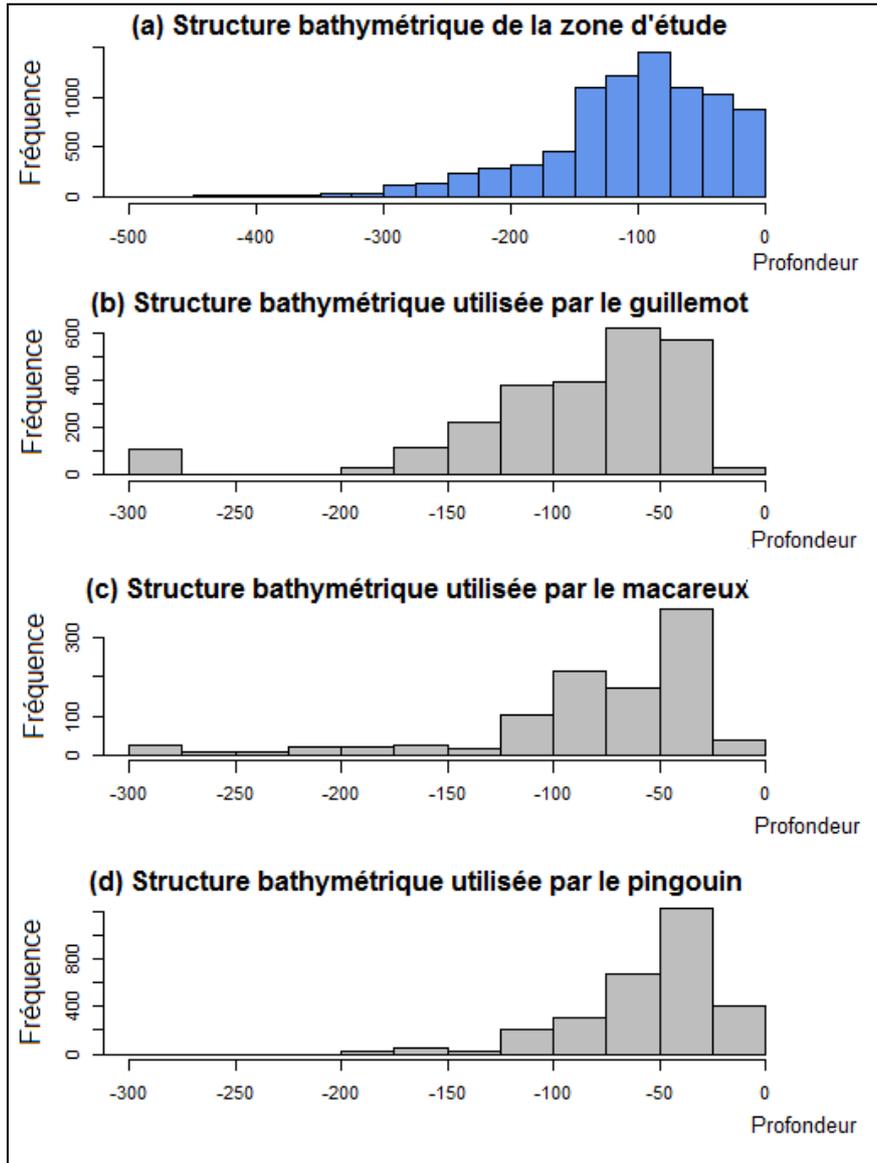
## VI- Relation entre la structure bathymétrique de la zone d'étude et la distribution des zones d'alimentation spécifiques.

Les résultats du test de Kolmogorov Smirnov démontrent l'existence d'une différence significative entre la distribution bathymétrique de la zone d'étude et la distribution bathymétrique associées aux localisations des espèces étudiées ( $p = 2.2e-16$ ). Les 3 espèces utilisent préférentiellement les zones proches des côtes entre Saint Pierre et Miquelon (fig. 7), à la verticale de fonds marins situés entre -100 et -200 m. Inversement, les zones où la profondeur est comprise entre - 200m et - 300 m sont très peu utilisées et les zones où la profondeur est supérieure à - 400 m ne le sont pas du tout.



**Fig.7 : Cartographie illustrant la superposition des localisations des trois espèces et de la structure bathymétrique régionale.**

Dans le but d’avoir une perception plus précise de la relation entre la bathymétrie et la répartition spatiale des modèles d’étude, nous avons comparé les histogrammes illustrant la variation de la profondeur dans notre zone d’étude, et la variation de la profondeur associée aux localisations de chacune des espèces étudiées (fig. 8). La bathymétrie de la zone d’étude varie entre 0 et 400 m avec dominance des profondeurs inférieures à - 200 m. Les guillemots et macareux prospectent des zones où la profondeur ne dépasse guère - 300 m alors que les pingouins prospectent uniquement des zones où la profondeur est inférieure à - 200 m. Nous observons que la distribution des oiseaux s’effectue plus sur des zones où la profondeur est comprise entre 25 et 50 m (zones avec les plus forts taux de présence).



**Fig.08 : Mise en relation de la structure bathymétrique de la zone d'étude et la structure bathymétrique utilisée par les modèles d'étude (guillemot, pingouin, macareux).**

L'identification des zones d'alimentation en mer est une approche particulièrement intéressante dans l'optique de la conservation des oiseaux marins, dans la mesure où elle permet de définir des zones d'importance pour la mise en œuvre des mesures de gestion permettant la pérennisation de la disponibilité alimentaire, notamment durant la période de reproduction. Cette étude exploratoire se proposait de déterminer des zones d'alimentation utilisées par 3 espèces d'alcidés vivant en sympatrie sur l'île du Grand Colombier durant leur période de reproduction. À partir d'un jeu de données télémétriques, nous avons décrit les trajets de prospection alimentaire et délimité les zones d'alimentation en utilisant la méthode des Kernels. L'originalité de cette étude réside dans le fait qu'elle est la première dans son genre à l'échelle locale et l'une des rares à l'échelle régionale.

### *Comportement de recherche alimentaire :*

Nos analyses montrent qu'ils n'existent pas de différences significatives entre les espèces en matière de distance, durée, sinuosité et rayon de dispersion des trajets en mer, ce qui suggère que ces dernières adoptent à priori des stratégies de recherche alimentaire relativement similaires. Néanmoins les valeurs moyennes des métriques font ressortir quelques différences entre les espèces ; ces différences ne sont pas perçues par le test utilisé, probablement parce que l'échantillon testé est de trop petite taille. Ainsi, le calcul des moyennes montre que le Macareux moine présente des durées et des distances de trajet légèrement plus longues que les deux autres espèces (tab.4), ces résultats diffèrent de ceux rapportés dans l'étude de Thaxter (2010). En effet, ce dernier mentionne que les espèces capables de ramener plusieurs proies à la fois, à l'exemple du macareux, ont tendance à passer moins de temps lors d'un trajet alimentaire car ils seront moins sélectifs qu'une espèce ne pouvant ramener qu'une seule proie, à l'exemple des guillemots et pingouins qui parcourent plus de distance et passeront plus de temps à rechercher une proie de qualité à ramener à leur poussin. Bien que nos résultats semblent ne pas être en accord avec Thaxter (2010), ceux-ci montrent néanmoins que sur le Grand Colombier, le macareux a tendance à prospecter en moyenne dans un rayon de dispersion presque deux fois plus grand (51,2km) que chez le guillemot ou le pingouin (33,2 et 32,7 km respectivement). Cet effort de recherche alimentaire supérieur observé chez le macareux pourrait être dû à des préférences alimentaires différentes des 2 autres espèces. En effet, Montevecchi & Piatt (1984), dans une étude conduite sur des colonies de Terre Neuve, ont rapporté que le guillemot se nourrit de capelans mâles et femelles alors que les macareux prédatent presque exclusivement des femelles. Etant considérablement plus grand que le

macareux, le guillemot peut prendre des proies plus grandes comme des capelans mâles contrairement au macareux. Cette même étude a également rapporté que les capelans mâles restent plus dans les eaux côtières, alors que les femelles ont tendance à se positionner plus loin dans les eaux pélagiques. Cette répartition des bancs de capelan ainsi que les préférences alimentaires des espèces pourrait justifier le contraste observé entre les zones d'alimentations. Par ailleurs, il est aussi important de souligner que la plupart des individus équipés chez le macareux couvaient encore un œuf au moment de l'étude, contrairement au pingouin ou au guillemot où la quasi-totalité des adultes élevaient déjà un poussin récemment éclos. Or durant ce stade les adultes couvant un œuf font des séjours en mer plus longs que pendant l'élevage, car ils n'ont pas la contrainte de revenir fréquemment au nid pour nourrir le poussin.

Les données décrivant la métrique de trajets obtenues au Grand Colombier pour les 3 espèces sont bien en deçà des capacités maximales mentionnées dans la littérature pour celles-ci. Sur des colonies islandaises, il a été rapporté que ces 3 espèces peuvent dépasser le rayon de 100 km lors d'un voyage de recherche alimentaire (Luigi Dall'antonia & al, 2001 ; Lilliendahl, 2003). Sur ces mêmes colonies, le rayon de dispersion moyen était de 21 km chez le guillemot, 15 km chez le pingouin et 10 km chez le macareux (Wanless et al, 1990). Ces valeurs sont nettement supérieures à celles rapportées dans notre étude, il est possible que les eaux entourant le Grand Colombier soient très riches en proies (ce qu'atteste la présence de nombreuses baleines s'alimentant tout au long de l'été sur place) ce qui permet aux oiseaux de parcourir de moins grandes distances pour chercher leur nourriture (ceci pourrait justifier l'augmentation récente des populations des 3 espèces étudiées).

D'autre part, il est aussi important de considérer le stade de reproduction des individus équipés car celui-ci peut fortement influencer le comportement de recherche alimentaire.

Dans l'étude de Wanless et al (1990) et Luigi Dall'antonia & al (2001) les adultes reproducteurs étaient sur poussin et dans l'étude de Lilliendahl (2003) le suivi s'est fait en 2 étapes, la première pendant l'incubation et la deuxième après l'éclosion.

### *Zone de prospection alimentaire:*

Nos résultats montrent que les trois espèces se concentrent en mer essentiellement au nord du Grand Colombier et plus précisément dans une zone délimitée à l'Ouest par Terre Neuve, au Sud par Saint Pierre et à l'Ouest par Miquelon (fig.6). Seuls quelques individus tendent à prospecter légèrement plus au sud, en bordure de la côte sud de Langlade (fig.6).

Cette même analyse a montré que les zones de prospection alimentaire des trois espèces se chevauchent fortement, comme cela a également été montré par Wanless et al (1990) dans une étude conduite sur des colonies de l'Île de May au Royaume Uni et par Linnebjerg et al (2013) sur des colonies du sud-ouest du Groenland.

### *Compétition interspécifique :*

Nos modèles d'études ont un régime alimentaire similaire (cf. tab.2) et utilisent globalement les mêmes zones d'alimentation. Cette coexistence pourrait engendrer de la compétition entre les 3 espèces. Selon le principe de l'exclusion compétitive, les espèces ayant des exigences écologiques voisines ne peuvent coexister indéfiniment, la plus compétitive étant alors amenée, à plus ou moins long terme, à exclure les autres (Gause 1934, Hutchinson 1959). Pourtant beaucoup de colonies d'oiseaux et mammifères marins se caractérisent par la coexistence de plusieurs espèces présentant des niches écologiques similaires (Gaston 2004). Dans le cas de nos modèles d'étude, les populations de ces trois espèces sur le Grand Colombier sont stables ou en augmentation (Lormee, 2008, 2015), ce qui signifie qu'*a priori* la compétition n'affecte pas négativement la dynamique de leurs populations. Selon le principe de différenciation de niche écologique, ces espèces doivent différer alors dans leur comportement de recherche alimentaire et/ou exploiter l'environnement de manière différente pour minimiser les effets de cette compétition interspécifique sur le long terme (Hutchinson, 1959). Les analyses montrent qu'il ne semble pas y avoir de différences significatives entre nos espèces dans les paramètres définissant les trajets alimentaires, il est possible de ne pas détecter de différence en 2 dimension (surface) mais que la plongée soit différente. En effet, chez les Alcides, la profondeur de plongée et le temps d'apnée sont positivement corrélés avec la masse corporelle, les espèces les plus grandes à l'exemple du Guillemot de Troïlplongent plus profondément et plus longtemps que le Macareux moine ou le Pingouin torda (Schreiber et Burger, 2001). Ce qui leur permet d'exploiter d'autres gammes de proies à des profondeurs différentes réduisant ainsi la compétition interspécifique. Notre étude n'était pas en mesure d'étudier le comportement de plongée. De ce fait, nous ne disposons pas de données permettant de vérifier l'existence de différences entre espèce à ce niveau, néanmoins d'autres études antérieures l'ont confirmé (Wanless& al, 1998 ; Thaxter, 2010).

### *Relation entre la structure bathymétrique de la zone d'étude et la distribution spatiale des modèles d'étude*

Nous avons exploré la relation entre la structure bathymétrique de la zone d'étude et celle des données de géo localisation des espèces étudiées afin d'explorer le lien pouvant exister entre ces deux composantes. En effet, des recherches ont examiné les facteurs physiques qui engendrent les agrégations de proies. Parmi ces facteurs, il y a les régions d'interaction entre les courants marins et la bathymétrie (Ainley et al, 1993). Les courants marins sont influencés par la structure bathymétrique des fonds marins. Ces courants concentrent des nutriments et créent des zones à forte productivité primaire près des côtes, en remontant près de la surface (up-welling) (Park et al. 1998). Cette importante productivité va permettre le développement d'une quantité de biomasse considérable de zooplancton et de poissons et par conséquent le maintien d'une large présence d'oiseaux marins qui viennent prédater ces proies (Shannon & O'Toole, 2003). Il apparaît que les espèces montrent une préférence pour les zones à faible profondeur, soit les zones proches des côtes à l'Est de Saint Pierre et au Nord de Miquelon. Cette distribution spatiale pourrait être influencée par les caractéristiques bathymétriques des fonds océaniques en raison de leurs influences sur la distribution de proies.

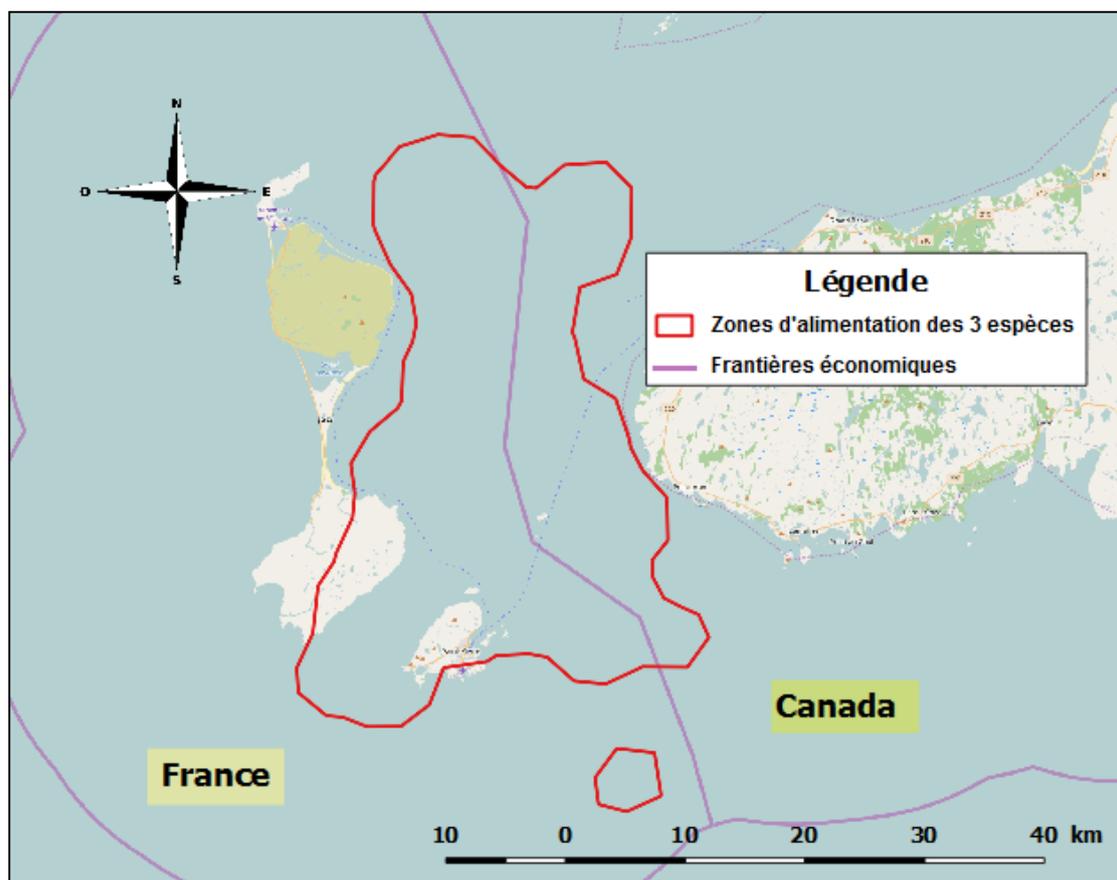
### *Perspectives en termes de conservation :*

Les espèces d'oiseaux marins longévifs à l'exemple de celles considérées dans notre étude sont particulièrement vulnérables aux activités humaines, en effet la cinétique de leurs populations est fortement liée à la survie des adultes reproducteurs (Pasquet, 1986). Or ces derniers, peuvent être confrontés à divers menaces environnementales, pour une bonne part d'origine anthropique. En mer, les filets maillants et la pollution par les hydrocarbures sont des facteurs critiques qui menacent la survie de ces espèces (Schreiber & Burger 2002, Piatt & al, 1990). Une autre menace concerne la surexploitation des ressources alimentaires, qui affecte directement la reproduction et/ou la survie des oiseaux marins (Sandvik & al 2005 ; Votier & al, 2005). A une échelle plus locale, il est important de souligner que le territoire marin situé entre Saint Pierre, Miquelon et Terre Neuve constitue zone d'activité pour certains types de pêche et une zone de circulation fréquente pour les bateaux assurant la circulation des habitants entre St Pierre et le reste de l'archipel, en particulier pour les trajets St Pierre – Langlade. Le parcours de ces bateaux traverse la zone centrale de la zone d'alimentation (le cœur au sens défini par la méthode de Kernel) mis en évidence pour ces espèces, en tout cas

pendant l'élevage des poussins. Aucun impact négatif de ces passages n'a été démontré pour l'instant, néanmoins nos résultats peuvent servir de base de discussion pour réfléchir sur la coexistence durable entre la diversité biologique et les activités humaines actuelles et futures. A cet effet, la mise en place de mesure de gestion nécessite au préalable une bonne connaissance de l'écologie des espèces et les informations obtenues dans notre étude quant à la délimitation d'une zone marine d'importance pour ces espèces pendant leur période de reproduction seront particulièrement pertinentes.

Par ailleurs la prévention des marées noires, du déballastage des navires constituent des mesures à mettre en œuvre collectivement pour minimiser au maximum que des pollutions puissent atteindre spécifiquement ces zones d'importances pour ces oiseaux.

Un point original de cette étude en termes de gestion est qu'elle porte sur un territoire chevauchant deux zones économiques, les zones économiques exclusives française et canadienne (fig.9). De ce fait, il est important de souligner que l'application des mesures de gestion et de conservation doit s'effectuer au niveau international.



**Fig.09 : Positionnement de la zone d'alimentation globale des modèle d'étude(Guillemot de Troil, Pingouin torda et Macareux moine) en fonction des limites des zones économiques exclusives canadienne et française.**

A l'issue de ce travail, plusieurs limites ont pu être identifiées :

- Une première concerne la méthode employée pour discriminer les trajets alimentaires. Le fait de travailler sur des oiseaux plongeurs en se basant uniquement sur des données à deux dimensions (longitude et latitude) laisse beaucoup d'hypothèses en suspens. De ce fait, disposer d'informations sur la composante verticale nous aurait permis de diminuer l'incertitude sur l'interprétation des comportements d'alimentation, et en particulier de mieux discriminer les comportements d'alimentation (plongée) des comportements de repos sur l'eau. Ces données n'ont pas pu être récoltées, car les GPS qui fournissent ce genre d'information sont plus coûteux, mais aussi plus lourds, et peuvent donc s'avérer incompatibles avec la taille et le poids de l'animal. En effet, les recommandations actuelles stipulent que les dispositifs externes ne devraient pas dépasser 3 à 5% de la masse corporelle de l'animal (Vandenabeele & al, 2011) sous peine au minima de biaiser les comportements enregistrés (par exemple en accroissant sensiblement les dépenses énergétiques de l'oiseau équipé), voire même d'affecter le succès de la reproduction et/ou sa survie.
- Il est également important de mentionner que notre étude ne couvre qu'une partie du cycle de reproduction des espèces (fin d'incubation début d'élevage). De ce fait, les résultats obtenus quant à la définition des zones d'alimentation ne sont pas forcément extrapolables à l'ensemble du cycle reproducteur. Par exemple, pendant l'incubation, les parents ne sont pas contraints de revenir rapidement au nid pour nourrir le poussin et effectuent donc généralement des trajets en mer plus longs.
- Nous rappelons aussi que lors de la récolte de données plusieurs GPS posés sur le macareux se sont très vite déchargés, il faudra donc en tenir compte pour améliorer le matériel déployé sur cette espèce dans des études futures.

Enfin, comme perspectives, on pourrait penser à élargir l'approche que nous avons appliquée à la période d'incubation des oiseaux, ceci afin d'avoir une perception plus globale des zones d'alimentation des espèces. On pourrait également penser à intégrer la production primaire dans l'interprétation des résultats, en effet cette dernière est un paramètre pouvant agir directement sur la distribution des bancs de poisson (*via* la chaîne alimentaire) et indirectement sur la distribution des oiseaux à l'exemple de nos modèles d'étude, de ce fait la production primaire est un paramètre pouvant expliquer la répartition spatiale des prédateurs marins à l'exemple des oiseaux.

## Références bibliographiques

---

- Ainley D. G, Ribic C A, And Spear L b. 1993: Species-habitat relationships among Antarctic seabirds: a function of physical or biological factors? *Condor* (95) : 806–816.
- Ballance, L.T, Pitman, R.L. & Reilly, S.B. 1997: Seabird community structure along a productivity gradient: importance of competition and energetic constraint. *Ecology*, (78) : 1502-1518.
- Barrett, R.T. 1984: Adult body temperatures and the development of endothermy in the Puffin (*Fratercula arctica*), Razorbill, (*Alca torda*) and Guillemot (*Uria aalge*). Fauna norv. Set. C, *Cinclus* (7):119-123.
- Beaugrand G, et Goberville E. 2010: Conséquence des changements climatiques en milieu océanique, *VertigO – La revue en sciences de l’environnement*, Hors – Série 8, octobre 2010.
- Brown, C.R, Brown, M.B. and Ives A.R. 1992: Nest placement relative to food and its influence on the evolution of avian coloniality. *The American Naturalist*, (139): 205-218.
- Del Hoyo J, Elliott A, and Sargatal J, 1996 : Handbook of the birds of the world, Volum 3 Hoatzin to Auks Edition Lynx, Barcelona, 821p.
- Gaston, A. J. 2004: Seabirds - a natural history. Yale University Press, London.
- Gause G F 1934: The Struggle For Existence (1st ed.). Baltimore: Williams & Wilkins.
- Getz W M, and Wilmers C. C. 2004: local nearest-neighbor convex-hull construction of home ranges and utilization distributions. *Ecography*, (27): 489–505.
- Hunt G.L., Bakken V. & Mehlum F. 1996: Marine Birds in the marginal ice zone of the Barents Sea in late winter and spring. *Arctic*, (49) : 53-61.
- Hutchinson G E, 1959, Homage to Santa Rosalia, or why are so many kinds of animals ? *Am.NatXCII*, (870): 137-145.
- IPCC. 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 881pp, 2001.
- Jouventin P. and Mougin J.L. 1981 : Les stratégies adaptatives des oiseaux de mer. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, (35) : 217-272

## Références bibliographiques

---

- Lewis S, Benvenuti S, Dall'Antonia L, Griffiths R, Money L, Sherratt L N, Wanless S and Hamer K C, 2002: Sex-specific foraging behaviour in a monomorphic seabird, *Proc. R. Soc. Lond.*, (269), 1687–1693.
- Linnebjerg J F, Fort J, Guilford T, Reuleaux A, Mosbech A, Frederiksen M, 2013: Sympatric Breeding Auks Shift between Dietary and Spatial Resource Partitioning across the Annual Cycle, *PLOS ONE*, (30), 1-10.
- Lliendahl k, Olmundsson J, Gudmundsson G And Tylor L. 2003: Can surveillance radar be used to monitor the foraging distribution of colonially breeding alcid?, *The Condor*, (105):145-150.
- Lormee H, Barbraud C et Letournel B. 2015 : Etude des populations d'Oiseaux Marins Nicheurs sur l'Ile du Grand Colombier (Saint Pierre & Miquelon), Rapport, ONCFS, 24p.
- Lormee H, Karine D et Letournel B. 2008 : dénombrement des oiseaux marin nicheur sur l'île du grand colombier (saint pierre et miquelon), ONCFS, rapport, 23p.
- Lormée. H, Delord K, Letournel B and Barbraud C. 2012 : Population Survey of Leach's Storm-Petrels Breeding at Grand Colombier Island, Saint-Pierre and Miquelon Archipelago. *The Wilson Journal of Ornithology* , 124, 245-252.
- Luigi Dall'antonia l, Gudmundur A. Gudmundsson , And Benvenuti S. 2001: Time allocation and foraging pattern of chick-rearing razorbills in northwest iceland, *The Condor* (103) :469–480.
- Mahoney S. P., & W. Threlfall. 1981: Notes on the eggs, embryos and chick growth of Common Guillemots *Uria aalge* in Newfoundland. *Ibis* (123): 211-218.
- Marcarthur R. H. and Pianka E. R. 1996: On optimal use of a patchy environment, *The American naturalist*, (100) : 603-609.
- Mavor, R.A., Parsons, M., Heubeck, M. and Schmitt, S. 2005: Seabird numbers and breeding success in Britain and Ireland, 2004. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, UK Nature Conservation No. 29. 104 p.
- McCullagh, P, and Nelder, J.A. 1989: Generalized Linear Models. 2nd ed. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, Florida. 506p.
- Montevecchi WA and Piatt JF. 1984: Composition and energy contents of mature inshore spawning capelin (*Mallotus villosus*): implications for seabird predators. *Comp Blochem Physiol*, (67): 15-20.

## Références bibliographiques

---

- Orians G.H. & Pearson N.E. 1979: On the theory of the central place foraging. In: Analysis of ecological systems (eds D.J. Horn, R.D. Mitchell & G.R. Stairs) Ohio State University Press, Columbus. 154-177 p.
- Parmesan C. 2006: Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* (37): 637-669.
- Pasquet, E. 1986 : Démographie des Alcidés : analyse critique et application aux populations françaises. *L'Oiseau et la Revue Française d'Ornithologie*, (56): 1-57 et 113-170.
- Piatt F and Nettleship D. 1987: Accidental Catch of marine Bird and Mammals in fishing Nets off Newfoundland, Canada, *Marine Pollution Bulletin*, (18): 344\_349
- Piatt, J. F, Lensink W, Butler W, Kenziorek M, and Nysewander D. 1990: Immediate impact of the Exxon Valdez oil spill on marine birds. *Auk* (107): 387-397.
- Rodway M S, Montevecchi W A, 1996: Sampling methods for assessing the diets of Atlantic puffin chicks, *marine ecology progress series*, (144): 41-55.
- Roger; Powell, R. A. 2000: Animal home ranges and territories and home range estimators. *Research Techniques in Animal Ecology: Controverses and Consequences* (eds L. Boitoni and T. K. Fuller), Colombia University Press, New York. 65 – 105
- Sandvik, H., Erikstad, K.E., Barrett, R.T. and Yoccoz, N.G. 2005: The effect of climate on adult survival in five species of North Atlantic seabirds. *Journal of Animal Ecology*, (74): 817-831.
- Schreiber E A and Burger J. 2001: Biology of marine sea bird, CRS PRESS, London, 722p.
- Shannon LV and O'Toole MJ. 2003: Sustainability of the Benguela: ex Africa semper aliquid novi. In: Hempel G, Sherman K (eds) Large marine ecosystem: trends in exploitation protection and research. Elsevier, Amsterdam, p 227–253
- Thaxter C B, Wanless S, F. Daunt M. P. Harris S. Benvenuti Y. Watanuki D. Grémillet and Hamer K C, 2010: Influence of wing loading on the trade-off between pursuit-diving and flight in common guillemots and razorbills, *The Journal of Experimental Biology* (213), 1018-1025.
- UICN, 2016: liste rouge des espèces menaces de France, 32p.
- Vandenabeele S P, Shepard E L, Grogan A, Wilson R P, When three per cent may not be three per cent; device-equipped seabirds experience variable Xight constraints, *Mar Biol*, DOI 10.1007/s00227-011-1784-60.

## Références bibliographiques

---

- Votier, S.C., Hatchwell, B.J., Beckerman, A., Mccleery, R.H., Hunter, F.M., Pellat, J., Trinder, M. and Birkhead, T.R. 2005: Oil pollution and climate have wide-scale impacts on seabird demographics. *Ecology Letters*, (8): 1157-1164.
- Wanless S, Harris M P and Morris J A. 1990: A Comparison of Feeding Areas Used by Individual Common Murres (*Uria aalge*), Razorbills (*Alca torda*) and an Atlantic Puffin (*Fratercula arctica*) during the Breeding Season, *Colonial Waterbirds*, (13): 16-24
- Wanless S, Morris J A and Harris M P. 1988: Diving behaviour of guillemot *Uria aalge*, puffin *Fratercula arctica* and razobill *Alca torda* as shown by radio-telemetry, *Journal of Zoology*, (216): 73-81.
- Worton, B. J. 1989: Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology* (70):164-168.

Tab.1 : Espèces marines et terrestres nicheuse au grand colombier :

Famille	Nom scientifique	Nom vernaculaire	Auteurs
Alcidae	<i>Uria aalge</i>	Guillemot de Troil	Pontopiddan, 1763
	<i>Cepphus grylle</i>	Guillemot à Miroir	Linnaeus, 1758
	<i>Alca torda</i>	Pingouin Torda	Linnaeus, 1758
	<i>Fratercula arctica</i>	Macareux Moine	Linnaeus, 1758
Hydrobatidae	<i>Oceanodroma leucorhoa</i>	Océanite cul blanc	Vieillot, 1818
Laridae	<i>Larus marinus</i>	Goéland marin	Linnaeus, 1758
	<i>Larus smithsonianus</i>	Goéland hudsonien	Coues, 1862
	<i>Rissa tridactyla</i>	Mouette tridactyle	Linnaeus 1758
Phalacrocoracidae	<i>Phalacrocorax carbo</i>	Grand cormoran	Linnaeus, 1758
Procellariidés	<i>Fulmarus glacialis</i>	Fulmar boréal	Linnaeus, 1761
	<i>Puffinus puffinus</i>	Puffin des anglais	Brünnich, 1764
Scolopacidés	<i>Actitis macularius</i>	Chevalier grivelé	Linnaeus, 1766
Accipitridés	<i>Buteo lagopus</i>	Buse pattue	Pontoppidan, 1763
Corvidae	<i>Corvus corax</i>	Grand Corbeau	Linnaeus, 1758
Motacillidae	<i>Anthus rubescens</i>	le Pipit d'Amérique	Tunstall, 1771
Emberizidés	<i>Passerculus sandwichensis</i>	Bruant des prés	Gmelin, 1789

Références : Lormee & al, 2008 ; 2016 ; Com.pers : Bruno Letournel ; Roger Etcheberry.

## **Détermination des zones d'alimentation en mer de 3 espèces d'alcidés pendant leur période de reproduction sur l'île du Grand Colombier (Archipel de St Pierre et Miquelon)**

L'île du Grand Colombier, située dans l'archipel français de Saint Pierre et Miquelon, est remarquable par la diversité et les effectifs des espèces d'oiseaux marins nicheurs qu'elle accueille. Afin de garantir la pérennité de ces colonies d'oiseaux marins, il est nécessaire de mieux connaître leur fonctionnement, en particulier leur utilisation du milieu marin environnant. Ces connaissances permettront de proposer d'éventuelles mesures de gestion permettant la cohabitation de ces populations avec les activités humaines actuelles ou à venir dans cette zone. Notre étude a donc visé chez 3 espèces d'alcidés se reproduisant en sympatrie, le Macareux moine, le Pingouin torda et le Guillemot de Troil, à décrire les trajets en mer, et à identifier les principales zones d'alimentation. Dans cette optique nous avons équipé de balises GPS des adultes reproducteurs en fin d'incubation. Les résultats montrent que les oiseaux ne présentent pas de différences significatives dans leur comportement de recherche alimentaire, et que les zones d'alimentation, situées essentiellement sur la partie nord du Grand Colombier, se chevauchent fortement. Ces résultats sont discutés dans un contexte de sympatrie entre ces 3 espèces, de compétition pour l'accès aux ressources alimentaires, et considérés en relation avec les activités humaines locales.

Mots clefs : Zone d'alimentation, Grand Colombier, alcidés, *Alca torda*, *Fratercula arctica*, *Uria aalge*, GPS, comportement de recherche alimentaire.

## **Determination of the foraging areas of 3 species of Alcides during their breeding period on the island of Grand Colombier (St Pierre and Miquelon Archipelago)**

The island of Grand Colombier, located in the French archipelago of Saint Pierre and Miquelon, is remarkable for the diversity and numbers of the species of nesting seabirds. In order to ensure the survival of these colonies, it is necessary to know more about their functioning, in particular their use of the surrounding marine environment. These results should permit to propose conservation and management measures allowing the coexistence of these populations with current or future human activities on the area. The aim of this study was to describe for three sympatric breeding species, the Atlantic puffin, the Razorbill and the Common murre, the foraging tracks, and identify the main foraging areas. In this perspective we have equipped breeding adults at the end of incubation with GPS loggers. The results show that birds do not exhibit a significant difference in their feeding behavior and that the feeding areas, located mainly on the northern part of the Grand Colombier, overlap greatly. These results are discussed in a context of sympatry between these 3 species, competition for access to food resources, and considered in relation to local human activities.

Keywords: Feeding area, Grand Colombier, Alcids, *Alca torda*, *Fratercula arctica*, *Uria aalge*, GPS, foraging behavior.