



Distribution en mer et utilisation de l'habitat des mouettes tridactyles nichant sur les côtes de la Manche

Aurore Ponchon, Fabrice Gallien, Gilles Le Guillou & David Grémillet

Juin 2015

Sommaire

REMERCIEMENTS	2
I. LES OBJECTIFS DU PROJET	3
II. METHODES	5
II.1. MATERIEL DE SUIVI UTILISE	5
II.2. CAPTURES DES INDIVIDUS ET DEPLOIEMENT DES GPS SUR LE TERRAIN	5
II.2.1. <i>Méthodes de capture</i>	5
II.2.2. <i>Déploiement des appareils</i>	9
II.3. PREPARATION ET SELECTION DES DONNEES GPS	10
II.4. REPRESENTATIVITE DES DONNEES RECOLTEES.....	11
II.5. ANALYSES SPATIALES	12
II.5.1. <i>Analyse de la distribution en mer des individus</i>	12
II.5.2. <i>Identification des zones d'alimentation et de repos en mer</i>	12
II.5.3. <i>Modélisation de l'habitat en mer des mouettes tridactyles</i>	14
III. RESULTATS ET INTERPRETATIONS	17
III.1. REPRESENTATIVITE DES DONNEES RECOLTEES.....	17
III.2. CARACTERISTIQUES DES TRAJETS EN MER	17
III.3. DISTRIBUTION EN MER DES MOUETTES TRIDACTYLES	19
III.3.1. <i>Schéma général</i>	19
III.3.2. <i>Trajets particuliers</i>	20
III.4. DISTRIBUTION DES ZONES D'ALIMENTATION ET DES ZONES DE REPOS.....	21
III.4.1. <i>Colonie de Boulogne-sur-Mer</i>	22
III.4.2. <i>Colonie de Fécamp et Saint-Pierre-du-Mont</i>	23
III.4.3. <i>Cohérence avec le réseau d'aires marines protégées actuelles</i>	24
III.5. MODELISATION DE L'HABITAT	25
III.5.1. <i>Paramétrisation et performance des modèles</i>	25
III.5.2. <i>Utilisation préférentielle des différentes variables environnementales</i>	26
III.5.3. <i>Contribution relative des variables environnementales dans la distribution prédite des oiseaux</i> 27	
III.5.4. <i>Résultats des modèles d'habitat</i>	28
IV. PREMIERES CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	31
IV.1. IMPORTANCE DES ZONES D'ALIMENTATION ET DE REPOS DES MOUETTES TRIDACTYLES DANS LA MANCHE	31
IV.2. LIMITES DE LA MODELISATION EN L'ABSENCE DE CONNAISSANCES SUPPLEMENTAIRES SUR L'ÉCOLOGIE ALIMENTAIRE DES MOUETTES TRIDACTYLES DE LA MANCHE	31
IV.3. LIMITES DU SUIVI SUR UNE SEULE SAISON DE REPRODUCTION	32
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	34
ANNEXES	36

REMERCIEMENTS

En Normandie :

Les adhérents du GONm ayant participé aux opérations de capture :

Pascal Gilles, Yannick Jacob, Régis Purenne, Alain Chartier, Bruno Lang, Bernard Mille, Marianne Anselme, Mickaël Jardin, Béatrice Albarelli, Jérôme Bozec, Jean-Raphaël Jacquemot, Denis Lemaréchal, Gunter De Smet, Willy Sorensen, Catherine Sauvage, Eric Wessberge, Vincent Poirier, Damien Le Guillou, Laurence Le Guillou, Guy Béteille, Charlotte Lemerre, Mélodie Tort, Arnaud Lec'hvien, Franck Deschandol, Grégory Saillard, Kévin Sourdrille, Johanna Choupin et Gérald Mannaerts.

Dans le Nord :

Les adhérents du GON ayant participé aux opérations de capture :

Alain Ward, Denis Tirmarche, Sylvie Deloffre, Pierre Camberlein, Marie-Noëlle Legrand, Guy Flohart, Ludivine Vieque, Franck Boitin, Cédric Beaudoin, Chrystelle Juignet, Rudy Pischietta, Jean-Michel Sauvage, Eric Petitbergen.

Les structures nous ayant permis de travailler sur la colonie de Boulogne-sur-Mer :

Franck Boitin (Communauté Urbaine de Boulogne-sur-Mer), pour le prêt de matériel, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail de Boulogne-sur-Mer pour nous avoir permis de fixer la base de réception sur leurs bâtiments, les services sécurité du port, la Chambre de commerce et d'industrie Côte d'Opale et le Conseil régional propriétaire du port pour nous avoir permis de travailler sur la colonie.

I. Les objectifs du projet

Dans le cadre de la stratégie nationale pour les aires marines protégées, l'Agence des Aires Marines Protégées (AAMP) a pour mission la création de Parcs Naturels Marins sur l'espace maritime français. L'AAMP contribue à l'élaboration de plans de gestion des sites Natura 2000 en mer (Directives Oiseaux et Habitats Faune Flore). Elle assure le recueil et le traitement des données concernant le milieu marin: recueil de données statistiques, recueil de données pour la mise en œuvre de Natura 2000 en mer en lien avec le Museum National d'Histoire Naturelle (MNHN), tableau de bord des mers françaises, tableau de bord des aires marines protégées, SINP Mer...

Dans le cadre de la mise en œuvre du tableau de bord des Aires Marines Protégées (AMP), l'Antenne Manche Mer du Nord de l'Agence a pour objectif la création d'un « observatoire oiseaux marins » pour la sous-région marine Manche Mer du Nord. Cet observatoire doit mettre en place des suivis pertinents et cohérents à l'échelle de la sous-région marine, permettant ainsi d'avoir des indicateurs pour mesurer l'état de conservation des espèces et des habitats (oiseaux intégrateurs) en milieu marin et ce, à différentes échelles (site, région, national, international). Cela devra permettre de mutualiser les moyens à mettre en œuvre, de répondre aux objectifs de la Directive oiseaux de la convention OSPAR et de la DCSMM. Cet observatoire devra associer à la fois les ONG, les gestionnaires, l'Etat, les établissements publics et les autres organisations concernées par cette problématique de conservation du milieu marin.

Le projet PANACHE, financé sur le programme Interreg IVA France-Angleterre a pour objectif la mise en place d'un réseau cohérent d'AMP sur l'Espace Manche. L'observatoire oiseaux marins aidera aux échanges d'expériences entre l'Angleterre et la France et devrait amener à terme à un suivi cohérent des espèces des deux côtés de la Manche en fonction des enjeux.

Eolienne Offshore des Hautes Falaises (EOHF) est lauréate de l'appel d'offres sur l'éolien en mer lancé par l'Etat en juillet 2011 sur la zone « Fécamp », une des cinq zones désignées comme « propice au développement de l'éolien en mer » par l'instance de concertation et de planification créée par le préfet de la région Haute-Normandie. La zone « Fécamp » est située au sein de la Zone de Protection Spéciale FR2310045 - Littoral seino-marin et à proximité du Site d'Intérêt Communautaire FR2300139 - Littoral Cauchois. EOHF a constitué une évaluation des incidences Natura 2000 de son projet éolien en mer à l'appui de sa demande de dossier de demande de concession, qui a été déposé le 23 octobre 2014. Une première version de l'évaluation des incidences a été présentée le 13 Septembre 2013 au groupe de travail « Natura 2000 » de l'instance de concertation et de suivi des activités maritimes, instance co-pilotée par le Préfet de Haute-Normandie et le Préfet maritime de la Manche et de la Mer du Nord. Le groupe de travail a alors validé que le projet n'avait pas d'effet significatif sur les populations d'oiseaux concernées mais avait émis des réserves pour le fulmar boréal, les plongeurs et les mouettes tridactyles. Les éléments complémentaires présentés par EOHF le 24 janvier 2014 ont permis au groupe

de travail de valider que le projet n'avait pas d'effet significatif sur les populations de fulmars boréaux et le groupe des plongeurs. Concernant la mouette tridactyle, le groupe de travail a conclu que la réalisation d'une campagne télémétrique permettrait d'appuyer les études déjà menées ayant conclu à l'absence d'incidence du parc éolien en mer sur cette population.

Eoliennes Offshore du Calvados (EOC) est quant à elle lauréate de l'appel d'offres sur l'éolien en mer lancé par l'Etat en juillet 2011 sur la zone « Courseulles-sur-Mer », l'une des cinq zones désignées comme « propice au développement de l'éolien en mer » par l'instance de concertation et de planification créée par le préfet de la région Basse-Normandie. La zone « Courseulles-sur-Mer » est située à proximité de plusieurs sites Natura 2000 dont la Zone de Protection Spéciale FR2510099 - Falaise du Bessin Occidental. EOC a donc constitué une évaluation des incidences Natura 2000 de son projet éolien en mer. Dans son avis du 6 Mars 2014, la Commission Interrégionale Mer et Littorale a recommandé à EOC un suivi des mouettes tridactyles de la colonie de Saint-Pierre-du-Mont par télémétrie ; le DOCOB de la ZPS fixe en effet comme objectifs d'« étudier les zones d'alimentation des mouettes tridactyles et des fulmars boréaux en période de reproduction ».

Les principaux objectifs du projet de suivi des mouettes tridactyles nichant sur les côtes de la Manche par GPS étaient multiples :

- Développer une nouvelle technique de capture pour attraper les individus.
- Tester un nouveau système de suivi individuel par GPS-UHF.
- Identifier les zones fréquentées par les individus suivis, et plus particulièrement les zones d'alimentation en périodes de nourrissage des poussins, conformément aux objectifs définis dans les DOCOB des zones Natura 2000 situées à proximité.
- Caractériser l'habitat préférentiel des mouettes tridactyles en période de nourrissage des poussins par modélisation pour prédire leur distribution dans la Manche.
- Récolter des données dans trois colonies de manière simultanée pour rendre compte d'éventuelles différences dans l'utilisation et la préférence d'habitat.

II. Méthodes

II.1. Matériel de suivi utilisé

La distribution et les activités en mer des mouettes tridactyles ont été déterminées à partir de GPS-UHF à panneaux solaires.

Les GPS-UHF à panneaux solaires (GPS UR1A-68S de 7g, Ecotone, Pologne) enregistrent la position des individus toutes les 5 à 20 minutes. Ils sont connectés à une station de réception par signaux radio, ce qui permet de télécharger automatiquement les données et de mettre les appareils en veille lorsque les individus équipés se trouvent aux abords de la station. Grâce aux panneaux solaires et au téléchargement régulier des données, les GPS peuvent enregistrer la position des oiseaux pendant plusieurs semaines et ils ne nécessitent pas la recapture des oiseaux pour accéder aux données.

II.2. Captures des individus et déploiement des GPS sur le terrain

Les GPS ont été déployés sur des individus *a priori* reproducteurs, en fin de période d'incubation ou en période d'élevage des poussins, entre Juin et Août 2014. Au total, 45 individus ont été équipés dans 3 colonies différentes: Saint-Pierre-du-Mont (49°23'42.4"N, 0°58'32.0"W), Fécamp (49°46',4.9"N, 0°22'7.7" E) et Boulogne-sur-Mer (50°43'24.6"N, 1°35'40.2"E).

II.2.1. Méthodes de capture

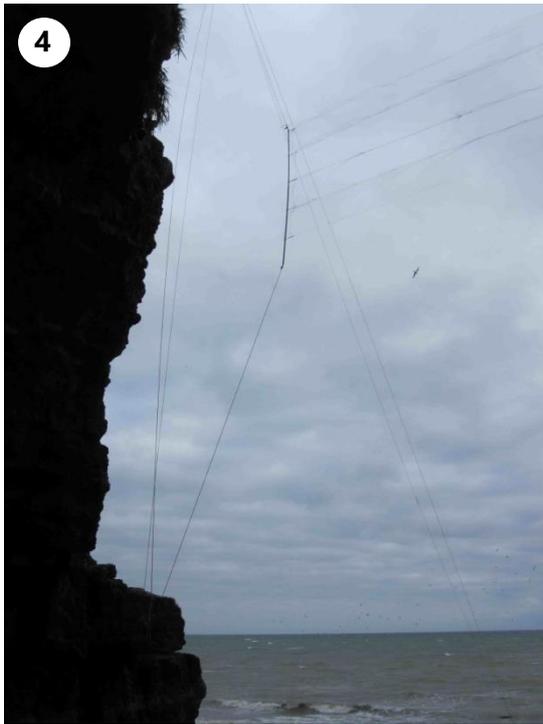
Les colonies de Saint-Pierre-du-Mont et de Fécamp se situent toutes les deux sur de hautes falaises calcaires où les risques d'éboulement sont importants. Capturer les oiseaux par la technique de la descente en rappel dans la falaise présentait un risque beaucoup trop important en termes de sécurité pour les observateurs comme pour les oiseaux. Cette technique a donc été exclue d'emblée.

La capture à l'aide d'une perche équipée à son extrémité d'une époussette ou d'un lasso utilisée sur certaines colonies présentait une relative facilité de mise en œuvre (peu de matériel) et permettait une capture/recapture des oiseaux. Cependant, sur les colonies de Saint-Pierre-du-Mont et Fécamp, les nids les plus bas se trouvent à près de 10m de haut, une hauteur où l'utilisation d'une perche portée à bout de bras n'est pas aisée. De plus, les nids accessibles à hauteur de perche sont peu nombreux. Compte tenu des conditions d'intervention et pour des raisons de sécurité, il n'était pas envisageable par exemple de monter sur une échelle ou un petit échafaudage dans le but de gagner quelques mètres offrant d'autres opportunités de capture (platier rocheux glissant, accès aux falaises limité par les marées...). Devant les risques importants et l'incertitude quant la réussite de capture, cette technique a également été exclue.

Il restait la possibilité d'utiliser un filet, technique classique pour la capture des oiseaux. Un filet doit être installé entre 2 perches et doit être tendu. Des

perches de hauteur et solidité suffisantes n'étant pas disponible sur le marché, donc des solutions de remplacement ont été imaginées. Gilles Le Guillou a apporté une solution en mettant au point une technique consistant à hisser le filet tendu entre deux filins eux-mêmes tendus entre le haut et le bas de la falaise (Photos 1 à 5). Il faut noter que toutes les techniques énumérées ci-dessus ont été préalablement testées sur le terrain en 2013 (Debout *et al.* 2013) et les personnes en charge des captures étaient détentrices d'un permis délivré par le MNHN.





Photos 1 à 5 : Capture à Saint-Pierre-du-Mont à l'aide d'un filet hissé entre 2 filins

La morphologie des falaises de Fécamp étant différente de celles de Saint-Pierre-du-Mont, la méthode utilisée à Saint-Pierre du Mont n'a pas pu y être dupliquée. Restant sur l'idée d'un filet hissé, Gilles Le Guillou a mis au point une nouvelle méthode. Compte tenu qu'il faille hisser le filet à une quinzaine de mètres de hauteur, le problème majeur était la solidité des perches (plus la perche est haute moins elle est solide et plus il y a de risque de la casser lors de la mise en tension du filet.). Les perches classiques ont ainsi été remplacées par deux échelles, plus solides, entre lesquelles a été hissé le filet (Photos 6 à 8).





Photos 6 à 8 : Captures à Fécamp à l'aide d'un filet hissé entre 2 échelles

À Boulogne-sur-Mer, la colonie se trouve sur des bâtiments industriels. La situation est beaucoup plus simple. Une capture à l'aide d'une perche aurait certainement suffi. Cependant, la technique de filet hissé ayant fait ses preuves et sa mise en œuvre parfaitement maîtrisée, elle a été réutilisée (Photos 9 à 11). De plus, le gros avantage des filets tendus est qu'ils permettent une capture totalement aléatoire des individus, minimisant le risque de biais lié à l'emplacement des nids dans la falaise.





Photos 9 à 11 : Capture à Boulogne-sur-Mer à l'aide d'un filet hissé entre 2 échelles

L'utilisation de cette technique à Saint-Pierre-du-Mont et Fécamp fait qu'il a été impossible de choisir un oiseau au statut de reproduction défini pour le capturer. Les captures étant aléatoires, il est possible que des oiseaux non reproducteurs, c'est-à-dire non propriétaire d'un nid construit dans la falaise, ou des oiseaux en échec de reproduction, ayant perdu leurs œufs ou leur(s) poussin(s) au cours de la saison aient été capturés. L'expérience acquise à Boulogne-sur-Mer a démontré qu'une capture ciblée est tout à fait possible.

En l'absence de marquage (bagues, coloration du plumage...) des oiseaux suivis, il n'a pas été possible de suivre la production en jeunes au niveau individuel.

II.2.2 Déploiement des appareils

Sur chacune des trois colonies, quinze oiseaux adultes ont été capturés et équipés d'un GPS. Chaque site disposait d'une station de réception pour recevoir les signaux radios émis par les GPS. Ces stations ont été placées dans les falaises à Fécamp et Saint-Pierre-du-Mont, à moins de 30m du lieu de capture, et sur les bâtiments de l'ANCES face à la colonie de Boulogne-sur-Mer à environ 50 m des nids. Les antennes de réception ont été laissées sur place du jour de la

capture jusqu'à l'abandon des colonies par les oiseaux afin d'optimiser la collecte des données.

II.2.1.1 Saint-Pierre-du-Mont :

Les appareils ont été déployés sur deux sessions. La première a eu lieu le 17 juin 2014. Quatre oiseaux en incubation ont été capturés et équipés. La deuxième session a eu lieu le 14 juillet 2014 et a permis la capture de 11 oiseaux. L'ensemble des nids visibles était occupé par de jeunes poussins.

II.2.1.2 Fécamp

Les appareils ont été déployés sur deux sessions. La première a eu lieu le 16 juin 2014. Deux oiseaux en incubation ont été capturés et équipés. La deuxième session a eu lieu le 15 juillet 2014 et a permis la capture de 13 oiseaux. Une grande partie des nids visibles (mais pas la totalité) était occupé par de jeunes poussins.

II.2.1.3 Boulogne-sur-Mer

Les appareils ont été déployés sur deux sessions. La première a eu lieu le 28 juin 2014. Quinze oiseaux élevant des poussins de 1 à 2 semaines ont été capturés et équipés. Des problèmes techniques, nous ont empêché de vérifier le bon fonctionnement des appareils avant de les déployer (ils avaient tout de même tous été testés la veille). Le premier téléchargement des données, réalisé le 3 juillet a montré que seuls trois appareils avaient fonctionné. Une deuxième session, de recapture, a donc été organisée le 11 juillet. Dix oiseaux ont été recapturés. Leurs appareils ont été rechargés et redéployés sur d'autres oiseaux.

II.3. Préparation et sélection des données GPS

La fonction de géolocalisation des GPS s'éteint automatiquement lorsque les individus sont aux abords de la station de réception située dans la colonie, ce qui permet d'économiser de la batterie. Aucune position n'est donc enregistrée quand les individus sont sur leur nid. Toutefois, les appareils continuent à émettre des signaux radio réguliers qui sont reçus et enregistrés par la station de réception. Ces données de communication radio, qui comprennent entre autres la date, l'heure et l'identifiant du GPS ont été utilisées pour reconstituer les périodes de présence au nid des individus.

Certains GPS ont été programmés avec des cycles d'enregistrement spécifiques: 16h allumés puis 8h éteints entre 20h et 4h du matin, pour économiser la batterie et permettre une récolte de données plus longue dans le temps. Dans notre jeu de données, de nombreux trajets ont été ponctués de périodes de plusieurs heures/jours sans localisations, surtout ceux enregistrés par des GPS programmés pour s'éteindre la nuit. Parce qu'il est difficile de savoir

ce qu'a fait un individu pendant ces périodes sans données, il aurait été préférables de n'utiliser que des trajets complets. Cependant, la perte d'informations spatiales aurait été très importante. C'est pourquoi tous les trajets ont été gardés. En revanche, 5 GPS n'ont pas enregistré assez de données pour pouvoir retracer les trajets des individus et ont été exclus de l'analyse (Tableau 1).

Au total, 19 160 localisations obtenues à partir de 40 individus ont été utilisées, ce qui représente 626 trajets, tous individus et toutes colonies confondues (Tableau 1).

A cause de l'absence prolongée de localisations pour certains individus, due aux cycles d'enregistrement mais aussi à des charges de batterie trop faibles, les données n'ont pas été réinterpolées à pas de temps réguliers pour homogénéiser les trajets. Les résultats basés sur des variables temporelles, telles que la durée des trajets sont potentiellement biaisés et ne sont donnés qu'à titre indicatif. Les résultats spatiaux, basés sur les localisations et les distances, sont quant à eux fiables car les trajets sont très répétables au sein et entre les individus.

Tableau 1 : Détail des tailles d'échantillons et données GPS analysées

Colonie	Nb ind. équipés	Nb ind. utilisés	Nb de localisations enregistrées	Nb de trajets
Boulogne sur Mer	15	12	5167	145
Fécamp	15	15	8770	298
Saint-Pierre-du-Mont	15	13	5223	183
Total	45	40	19160	626

II.4. Représentativité des données récoltées

Du fait des nombreuses contraintes logistiques et financières, les tailles d'échantillons dans les études de suivis par GPS sont souvent réduites. Les courbes de saturation permettent de déterminer si le nombre d'individus suivis est représentatif de l'habitat général utilisé par les individus d'une colonie ou d'une population.

Une grille constituée de cellules de côté 0.01° ($\sim 1\text{km}^2$) est appliquée sur la zone d'étude. Pour chaque individu, chaque localisation GPS est associée à une cellule de la grille. La somme des cellules contenant au moins une localisation représente la surface utilisée par les individus. Ces surfaces sont ensuite ordonnées et cumulées pour obtenir la surface totale utilisée par tous les individus suivis issus d'une même colonie. Si la courbe obtenue atteint un plateau, c'est que le nombre d'individus suivis est représentatif des zones utilisées par la majorité des individus d'une colonie. Le seuil de représentativité fixé ici est défini comme le nombre d'individus à partir duquel 95% de la surface

totale utilisée est identifiée et à partir duquel la surface augmente de moins de 5% à l'ajout d'un nouvel individu.

II.5. Analyses spatiales

II.5.1. Analyse de la distribution en mer des individus

Les distributions de densités de points délimitent les zones de forte concentration de localisations enregistrées par les GPS (Figure 1). Les pourcentages qui en sont extraits correspondent à la proportion de localisations enregistrées dans les zones définies par les contours. Par exemple, une densité de 50% délimite la zone où se concentrent 50% des localisations GPS enregistrées. Dans cette étude, les distributions de densités ont été calculées par la méthode d'estimation des densités de kernels (Worton 1989) à partir du package *adehabitatHR* (Calenge 2006) sur le logiciel libre R 3.0.1. (R Core Team 2013). Les paramètres de lissage ont été choisis manuellement, pour une résolution d'environ 5 km. Toutes les cartes ont été mises en page sous ArcGIS 10.2 (ESRI) avec une projection UTM zone 30 Nord.

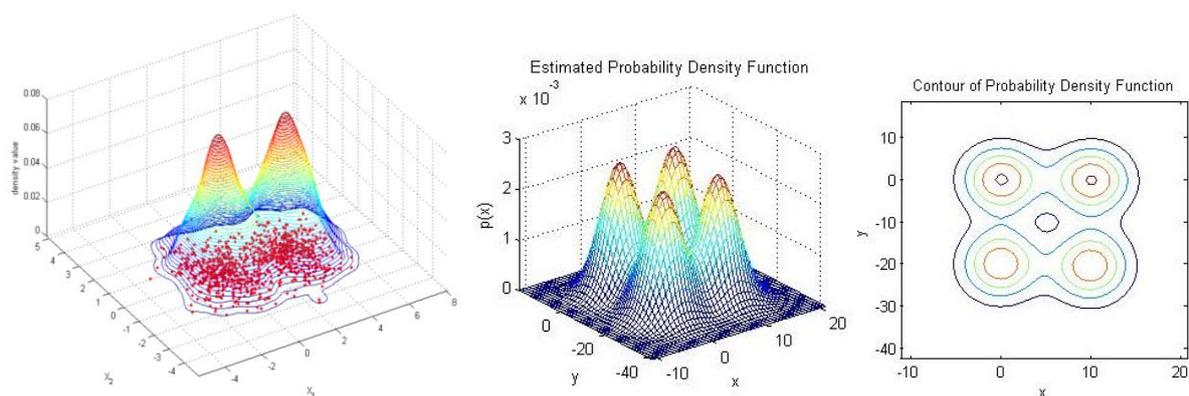


Figure 1 : Méthode de délimitation des contours de densités de points. Les points rouges représentent des localisations GPS. Les isolignes représentées en 3D et colorées du bleu au rouge indiquent les densités de localisations par unité de surface. Ces isolignes sont ensuite redessinées en 2D pour visualiser le contour des différentes valeurs de densités, exprimées en % (figures tirées de <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/19280-bivariate-kernel-density-estimation--v2-1->).

II.5.2. Identification des zones d'alimentation et de repos en mer

Comme les individus ont été suivis pendant plusieurs jours/semaines, plusieurs trajets ont été enregistrés pour un même individu. Il a donc fallu déterminer des seuils de distance et de temps pour identifier les trajets en mer. Un trajet a été délimité par le départ d'un individu de plus de 30 minutes et à plus de 200 m de sa colonie de nidification. Ensuite, un filtrage des données a été effectué à partir des intervalles de temps et de distances entre chaque localisation afin d'associer une localisation à une activité. Ce filtrage se base sur

le calcul d'un indice de sinuosité, qui reflète les phases de recherche alimentaire chez les oiseaux marins (Grémillet *et al.* 2004).

Lorsqu'un oiseau marin est en recherche de proies, sa vitesse est variable et sa trajectoire est très sinueuse. Au contraire, pendant les phases de vol, la trajectoire est très rectiligne et la vitesse de déplacement est élevée. En phase de repos, période pendant laquelle l'oiseau est posé sur l'eau et se laisse dériver avec le courant, la trajectoire est également rectiligne mais la vitesse de déplacement est faible ou nulle (Figure 2 en exemple). Le seuil pour la vitesse instantanée a été fixé à 10 km/h (Grémillet *et al.* 2004) et celui de l'indice de sinuosité a été fixé visuellement à 5. Chaque activité a ainsi été caractérisée comme suit :

- **Recherche de proies/nourrissage** : vitesse variable et indice de sinuosité élevée (>5)

- **Repos** : vitesse instantanée faible (<10 km/h) et indice de sinuosité faible (<5)

- **Vol** : vitesse instantanée élevée (>10 km/h) et indice de sinuosité faible (<5)

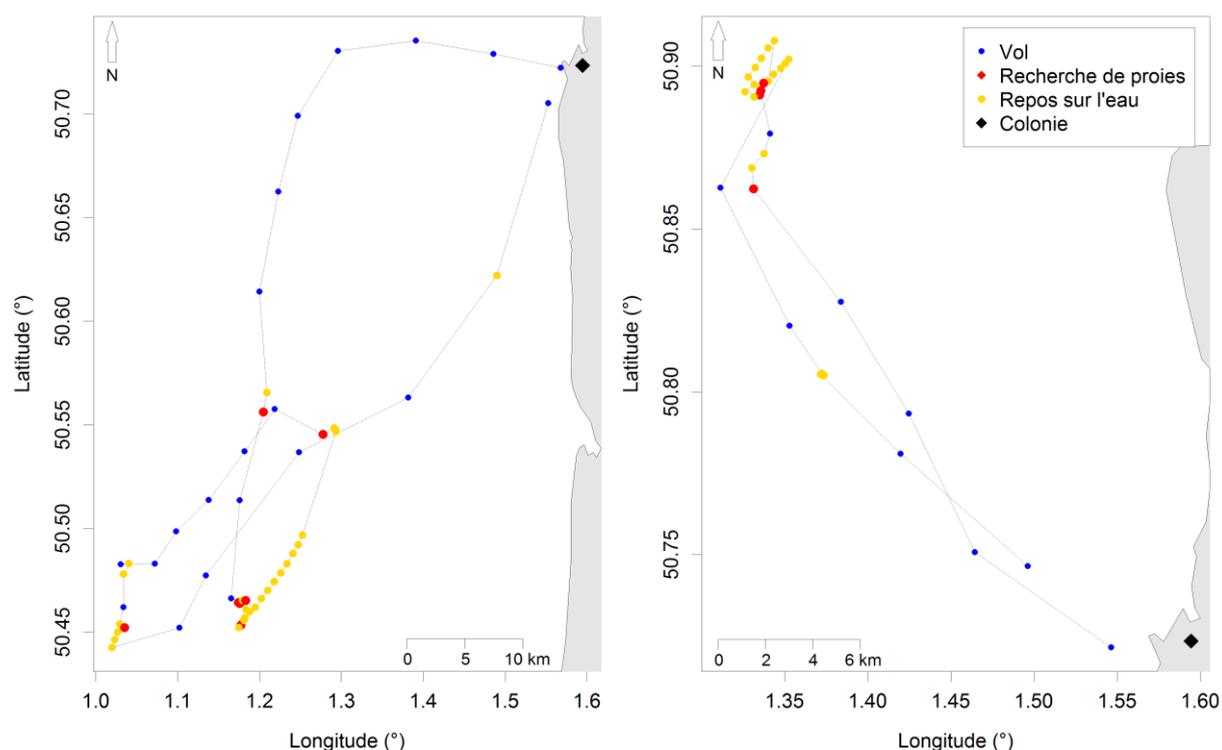


Figure 2: Exemple des activités pendant un trajet de deux individus nichant dans la colonie de Boulogne-sur-Mer.

Pour identifier plus précisément les zones d'alimentation et de repos en mer des mouettes tridactyles, les distributions de densités de points ont été recalculées uniquement à partir des localisations associées à des phases de recherche de proies ou de repos.

II.5.3. Modélisation de l'habitat en mer des mouettes tridactyles

II.5.3.1 Le modèle d'habitat

Le principe des modèles d'habitat est de croiser des données d'utilisation d'habitat avec des données biotiques et abiotiques relatives à l'environnement afin de quantifier statistiquement les relations qui gouvernent la distribution des espèces dans leur environnement. Les modèles d'habitat, qui ont ici été construits à l'aide du logiciel Maxent 3.3.3. (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>), sont basés sur la méthode d'entropie maximale (Phillips, Anderson & Schapire 2006), une méthode particulièrement efficace pour modéliser des habitats à partir de données de présence uniquement et avec un nombre limité de localisations (Phillips, Anderson & Schapire 2006; Phillips & Dudík 2008). A partir de valeurs de variables environnementales associées à des données de présence (ici, des localisations GPS) retranscrites sur une grille couvrant la zone d'étude, le modèle estime une probabilité de présence pour chacune des cellules de la grille. Plus les caractéristiques de l'habitat sont proches de celles des habitats utilisés par les individus suivis, plus la probabilité de présence, c'est-à-dire la probabilité de rencontrer l'espèce dans une cellule donnée, est proche de 1. Le modèle identifie donc tous les habitats potentiellement favorables de l'espèce sur la zone d'étude, qu'ils soient fréquentés ou non par les individus suivis, et il quantifie l'importance des caractéristiques océanographiques associées à ces zones favorables. Pour les détails de la démarche statistique, voir Phillips, Anderson & Schapire (2006).

Quatre modèles d'habitat ont été construits: un pour chaque colonie, et un pour toutes les colonies confondues. Leur robustesse est évaluée à partir de l'AUC, qui est comprise entre 0 et 1. Plus elle est proche de 1, plus le modèle s'adapte bien aux données et donc plus les résultats du modèles sont vraisemblables.

II.5.3.2 Les données GPS utilisées

Parce que les zones d'alimentation et de repos se chevauchent fortement (voir partie résultats), toutes les localisations GPS associées à des phases de recherche alimentaire ou de repos ont été utilisées. Les localisations associées à des phases de vol ont été exclues. Les données issues des deux individus suspectés d'être en échec de reproduction ont été exclues car l'utilisation de l'habitat par des individus en échec de reproduction peut différer fortement de celle d'individus en succès de reproduction, comme cela semble être le cas dans cette étude (voir Annexe II).

II.5.3.3 Les variables environnementales

Au total, 13 variables physiques, biologiques et océanographiques généralement utilisées par les oiseaux marins ont été sélectionnées pour caractériser l'habitat en mer des mouettes tridactyles nichant dans la Manche pendant la période Juin-Août 2014 (Tableau 2). La température de surface SST

et la salinité SSS caractérisent les masses d'eau, et la bathymétrie Bathym, la profondeur des fonds marins. La concentration de chlorophylle CHLA traduit l'intensité de la productivité primaire, base du réseau trophique marin. Des gradients ont été calculés par l'intermédiaire d'une fenêtre glissante de 5x5 pixels pour la température de surface SST, la salinité SSS, et la concentration de chlorophylle CHLA. Ces gradients permettent de mettre en évidence les zones frontales, structures océanographiques particulièrement productives et souvent exploitées par les oiseaux marins (Weimerskirch, 2007). Le gradient de bathymétrie traduit quant à lui les différences de relief sous-marin. Les anomalies de hauteurs d'eau (SLA) et les courants géostrophiques (EKE) permettent d'identifier les tourbillons, structures également productives qui attirent les prédateurs marins supérieurs. Comme la période d'étude s'étend sur deux mois, la variance a été calculée pour les variables environnementales dynamiques SST, CHLA et SSS. Des valeurs élevées de variance traduisent un fort brassage des masses d'eau au cours de la période d'étude.

Bien que ces variables aient une signification biologique certaine pour les oiseaux marins, le choix d'inclure ou non d'autres variables dépend avant tout de l'accès et de la disponibilité des données environnementales sur les différents portails. D'autre part, bien que la distance à la colonie soit une variable souvent utilisée pour modéliser l'habitat des oiseaux marins (e.g. Louzao *et al.* 2012), elle n'a pas été incluse ici car chez la mouette tridactyle, la distance à la colonie est extrêmement variable d'une colonie à l'autre (voir résultats), d'une année sur l'autre (e.g. Paredes *et al.* 2014) mais aussi au cours d'une même saison de reproduction, entre la période d'incubation et la période d'élevage des poussins (Ponchon *et al.* 2014). Si cette variable était incluse dans les modèles, elle empêcherait la mise en évidence de zones potentiellement favorables éloignées de la colonie mais non fréquentées au cours de la période de suivi, ce qui entraînerait une surestimation des probabilités de présence de l'espèce autour de la colonie et une sous-estimation dans les zones éloignées. De plus, le calcul de la distance à la colonie de Saint-Pierre-du-Mont, qui se base généralement sur la distance euclidienne entre la colonie et le point le plus éloigné d'un trajet, est problématique. Comme les mouettes tridactyles ne volent jamais dans les terres, elles devraient contourner les côtes du département de la Manche pour aller vers les côtes bretonnes, ce qui biaise considérablement le calcul de la distance à la colonie.

Lorsque les données de variables environnementales, téléchargées sur différents portails web (Tableau 2) étaient disponibles à l'échelle quotidienne ou hebdomadaire, celles-ci ont été moyennées pour correspondre à la période de suivi totale, soit du 15 Juin au 15 Aout 2014. Toutes les couches ont été réinterpolées par la méthode d'Inverse Distance Weighting (IDW) pour supprimer les valeurs manquantes et obtenir une grille de résolution 0.05°. Pour ne pas inclure des informations redondantes, la corrélation entre les différentes variables a été testée pour chaque modèle en calculant un coefficient de corrélation de rang de Spearman. Si ce coefficient est supérieur à 0.7, un modèle univarié déterminant le poids de chacune des variables est appliqué pour éliminer les variables redondantes (basé sur les critères de Péron, Weimerskirch

& Bost 2012). La cartographie de toutes les variables environnementales de la zone d'étude est fournie en Annexe 1.

Tableau 2 : Variables physiques, océanographiques et biologiques utilisées dans les modèles d'habitat

Variables utilisées	Unité	Processus océanographique sous-jacent	Source
Température de surface (SST)	°C	Distribution des masses d'eau	www.myocean.eu
Salinité de surface (SSS)	‰	Distribution des masses d'eau	www.myocean.eu
Concentration en chlorophylle (CHLA)	mg.m ⁻³	Productivité primaire	www.myocean.eu
Gradient de température de surface, de salinité et de concentration en chlorophylle (GrSST, GrSSS, GrCHLA)	Sans unité	Zones frontales	Calculé à partir de SST, SSS, CHLA
Variance des températures de surface, de la salinité et de la concentration en chlorophylle (VarSST, VarSSS, VarCHLA)	Sans unité	Dynamique et mélange des masses d'eau	Calculé à partir de SST, SSS, CHLA
Anomalies de hauteur d'eau (SLA)	m	Présences de tourbillons	www.myocean.eu
Courant géostrophiques (Eddy Kinetic Energy, EKE)	m.s ⁻¹	Courants, zones frontales	www.myocean.eu
Bathymétrie (Bathym)	m	Milieu côtier, néritique, pélagique	http://coastwatch.pfel.noaa.gov/
Gradient de bathymétrie (GrBathym)	Sans unité	Pentes continentales, talus, monts sous-marins, fosses	Calculé à partir de Bathym

III. Résultats et interprétations

III.1. Représentativité des données récoltées

La surface utilisée cumulée atteint un plateau après 6 individus pour les colonies de Saint-Pierre-du-Mont et Fécamp et 8 pour la colonie de Boulogne-sur-Mer (Figure 3). Cela signifie que le nombre d'individus suivis dans chaque colonie est représentatif et que les données révèlent les zones générales potentiellement utilisées par les individus de chaque colonie pour la période étudiée. On peut remarquer que les individus nichant à Boulogne-sur-Mer utilisent une surface environ 2,5 fois plus petite que ceux nichant à Saint-Pierre-du-Mont et 1,8 fois plus petite que ceux nichant à Fécamp.

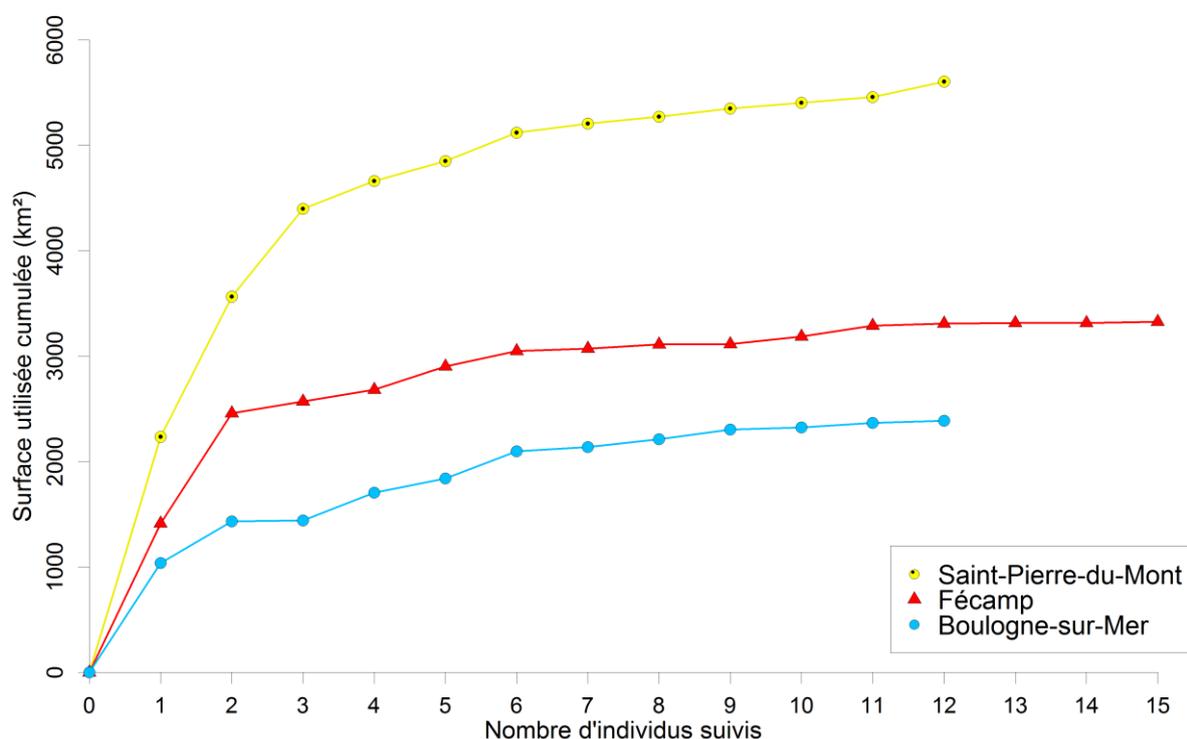


Figure 3. Courbes de saturation par colonie qui teste la représentativité des données récoltées.

III.2. Caractéristiques des trajets en mer

L'analyse approfondie des trajets GPS a permis de calculer les paramètres de trajets pendant la période de suivi, comme la durée du trajet, la distance parcourue ou la distance maximale à la colonie (Tableau 3). Les résultats temporels (nombre et durée des voyages) ne sont donnés qu'à titre indicatifs. Ils sont potentiellement biaisés par l'absence prolongée de localisations qui empêche de détecter les départs et retours des individus dans leur colonie.

Tableau 3: Paramètres des trajets de mouettes tridactyles pour chaque colonie: moyenne \pm écart-type (maximum).

Colonie	Durée moyenne d'enregistrement par individu (en jours)	Durée des trajets (en heures)	Distance maximale à la colonie (en km)	Distance totale parcourue par trajet (en km)
Saint-Pierre-du-Mont (n=13 ind)	18.1 \pm 9.4 (32.1)	20.0 \pm 20.6 (229.8)	49.6 \pm 40.9 (636.5)	120.4 \pm 131.3 (2169.6)
Fécamp (n=15 ind)	20.5 \pm 11.5 (53.5)	12.5 \pm 8.8 (76.6)	31.3 \pm 9.9 (62.0)	95.9 \pm 44.6 (557.9)
Boulogne-sur-Mer (n=12 ind)	13.6 \pm 9.5 (33.0)	15.8 \pm 8.8 (126.3)	36.1 \pm 13.9 (93.8)	89.4 \pm 54.6 (493.2)

La distance maximale à la colonie atteinte lors d'un trajet en mer est plus élevée pour les individus nichant à Saint-Pierre-du-Mont mais elle est également beaucoup plus variable (écart-type beaucoup plus élevé). De manière générale, ces distances sont très similaires à celles enregistrées dans d'autres colonies de mouettes tridactyles de l'Atlantique Nord-Est (Daunt *et al.* 2002; Thaxter *et al.* 2012; Robertson *et al.* 2014) et reflètent vraisemblablement des conditions environnementales favorables. Il faut noter que la distance maximale enregistrée pour la colonie de Saint-Pierre-du-Mont (636.5 km) a été effectuée par un individu probablement en échec de reproduction, et donc, qui n'était plus contraint par le besoin de revenir régulièrement au nid pour nourrir ses poussins.

III.3. Distribution en mer des mouettes tridactyles

III.3.1. Schéma général

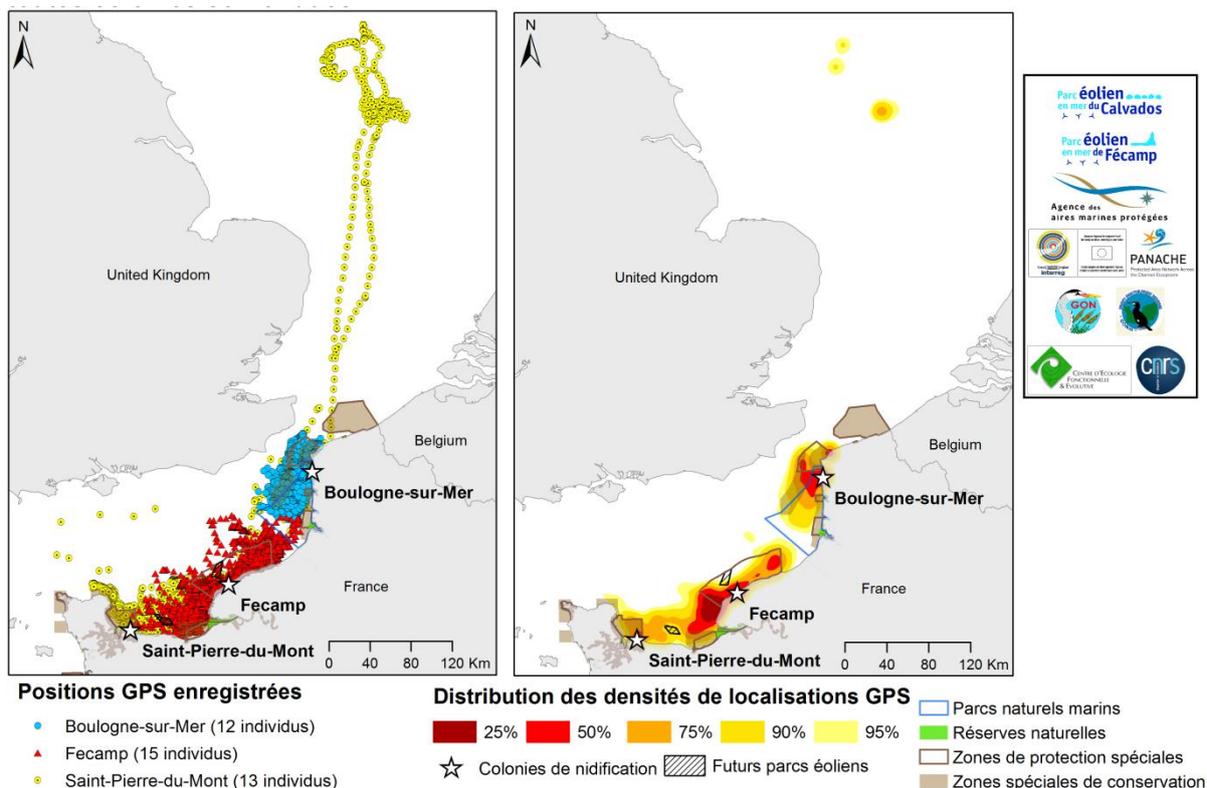


Figure 4 : Localisations GPS totales et distribution des densités de tous les oiseaux suivis, toutes colonies confondues.

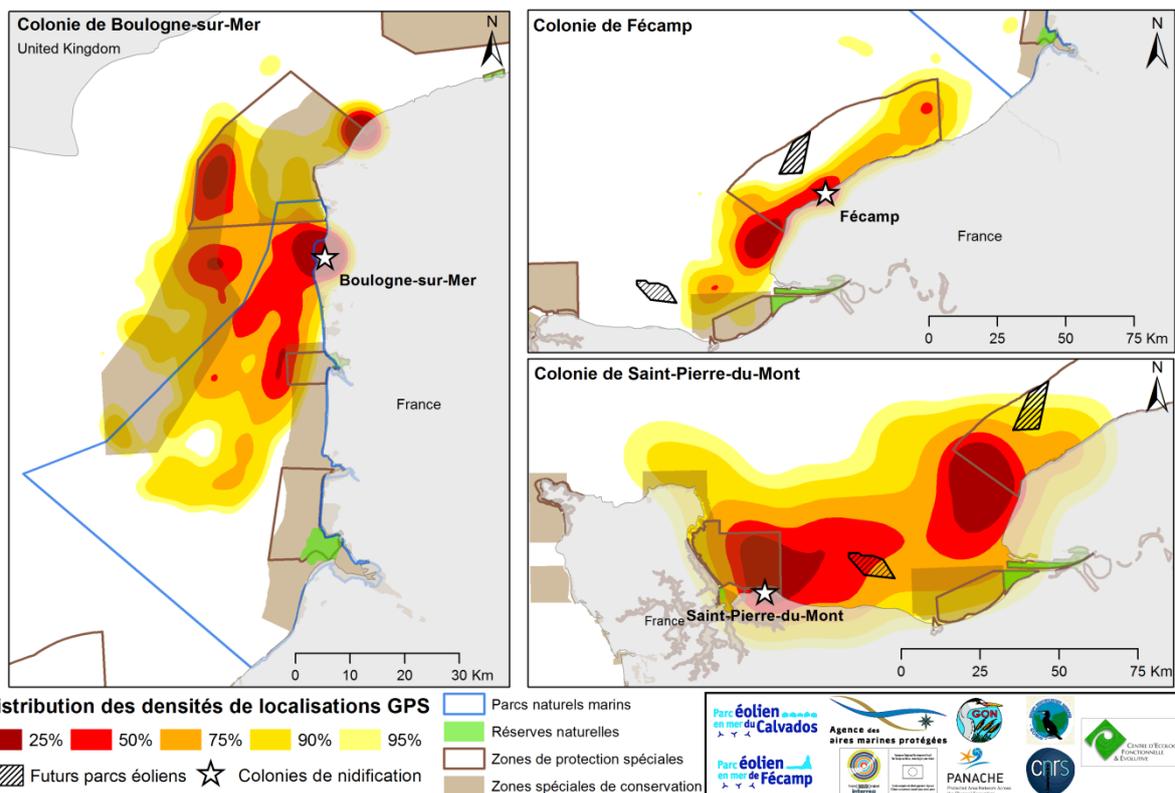


Figure 5 : Distribution en mer des mouettes tridactyles, par colonie.

Les distributions de densités représentent des zones colorées qui se superposent correspondant à la proportion de localisations GPS enregistrées. Sur les cartes des figures 4 et 5, la superposition des zones rouge et rouge foncé représente 50% des localisations GPS totales enregistrées.

Le suivi par GPS de mouettes tridactyles nichant sur les côtes de la Manche a montré que celles-ci étaient très côtières et qu'elles s'éloignaient entre 30 et 50 km de leur colonie pour rejoindre leurs zones d'alimentation (Tableau 3 ; Figure 4-5). Les oiseaux nichant à Saint-Pierre-du-Mont et Fécamp partagent certaines zones, notamment au large du Havre, alors que les oiseaux de Boulogne-sur-Mer utilisent des zones bien distinctes (Figures 4-5).

D'autre part, les oiseaux de la colonie de Saint-Pierre-du-Mont utilisent la partie Est de la ZPS « Baie de Seine occidentale » et un secteur situé au large du Cap de la Hève/Antifer très partiellement inclus dans la ZPS « Littoral Seino-Marin ». Ces individus fréquentent d'ailleurs ce secteur en compagnie de leurs congénères nichant à Fécamp. Ce secteur au large du Cap de la Hève/Antifer paraît important pour ces oiseaux, bien que majoritairement non inclus dans une AMP. Les oiseaux de la colonie de Fécamp sont plus côtiers que ceux de Saint-Pierre-du-Mont ou de Boulogne. Leur principale zone de fréquentation correspond au secteur Ouest de la ZPS « Littoral Seino-marin » et déborde plus à l'Ouest (Cap de la Hève/Antifer). Un petit secteur secondaire apparaît dans la partie Est de cette ZPS. Par conséquent, le réseau d'AMP actuel correspond en partie aux zones fonctionnelles des trois colonies étudiées. Des lacunes apparaissent au centre de la Baie de Seine mais surtout au large du Cap de la Hève/Antifer. Le site des Ridens, uniquement classé au titre de la Directive Habitats, faune, flore mais pas pour les oiseaux, correspond également à une zone fréquentée par les oiseaux de la colonie de Boulogne-sur-Mer. Le Parc naturel marin Estuaires picards et mer d'Opale récemment créé est également utilisé par ces oiseaux ainsi que la ZPS (Directive oiseaux) du « Cap Gris Nez » (Figures 4-5).

III.3.2. Trajets particuliers

Un individu, nichant à Saint-Pierre-du-Mont, est sorti de la Manche pour aller se nourrir en mer du Nord, à 640 km de sa colonie de nidification (Figure 5). Ce trajet a duré plus de 9 jours, ce qui est bien plus élevé que la moyenne des trajets pour sa colonie (Tableau 3). Il a également visité plusieurs fois la colonie de Fécamp, mais aussi une colonie de mouettes tridactyles située au Nord de Boulogne-sur-Mer, à Cap-Blanc-Nez, où nichent environ 2000 individus. Un autre individu, équipé à Boulogne-sur-Mer, a effectué plusieurs visites dans la colonie de Cap-Blanc-Nez (Annexe 2).

Chez les mouettes tridactyles, les visites de prospection dans d'autres colonies de reproduction sont communes mais elles sont presque exclusivement observées chez les individus en échec de reproduction (Cadiou, Monnat & Danchin 1994; Reed *et al.* 1999; Ponchon *et al.* 2013). Les schémas de mouvements enregistrés chez ces deux individus reflètent donc vraisemblablement le comportement d'individus qui ont subi un échec de reproduction. L'occurrence de trajets très longs dès le début de la période de

suiwi (Annexe 2) indique que ces individus étaient probablement déjà en échec de reproduction au moment de leur capture.

III.4. Distribution des zones d'alimentation et des zones de repos

Grâce au filtrage des données GPS en fonction des vitesses instantanées, des vitesses de déplacements et de la sinuosité des trajectoires, chaque localisation a pu être associée à une activité, ce qui a permis d'identifier plus précisément les zones d'alimentation et de repos.

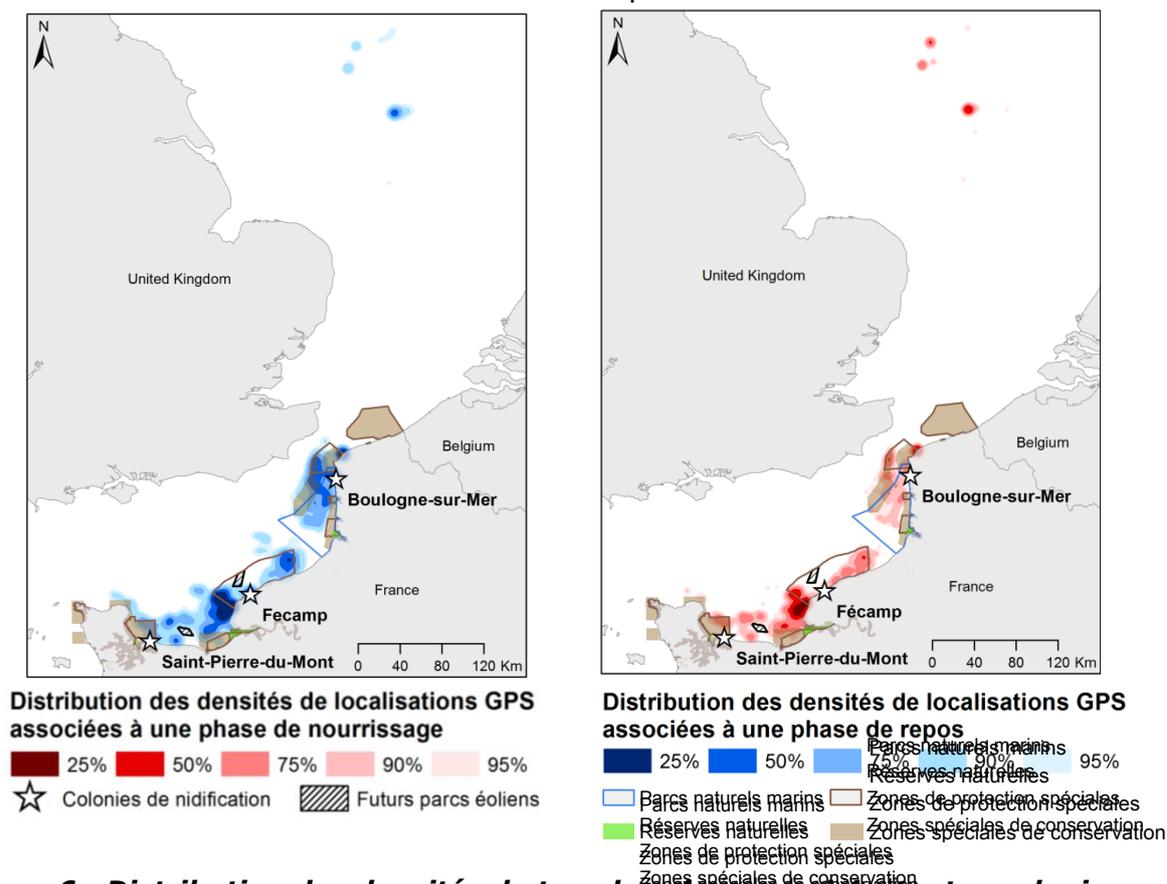


Figure 6 : Distribution des densités de tous les oiseaux suivis, toutes colonies confondues pour les phases de nourrissage (à gauche) et de repos (à droite).

De manière générale, les zones d'alimentation et de repos en mer se chevauchent (Figure 6). Il est possible que les mouettes se posent aussi à terre pour se reposer, comme c'est le cas chez les mouettes tridactyles nichant à Fécamp, qui vont régulièrement se poser pendant de longues heures sur la grande digue du Havre. Toutefois, la quantification précise des repos en mer/à terre n'a pas été possible du fait de l'interruption prolongée de l'acquisition des données dans la plupart des trajets.

III.4.1. Colonie de Boulogne-sur-Mer

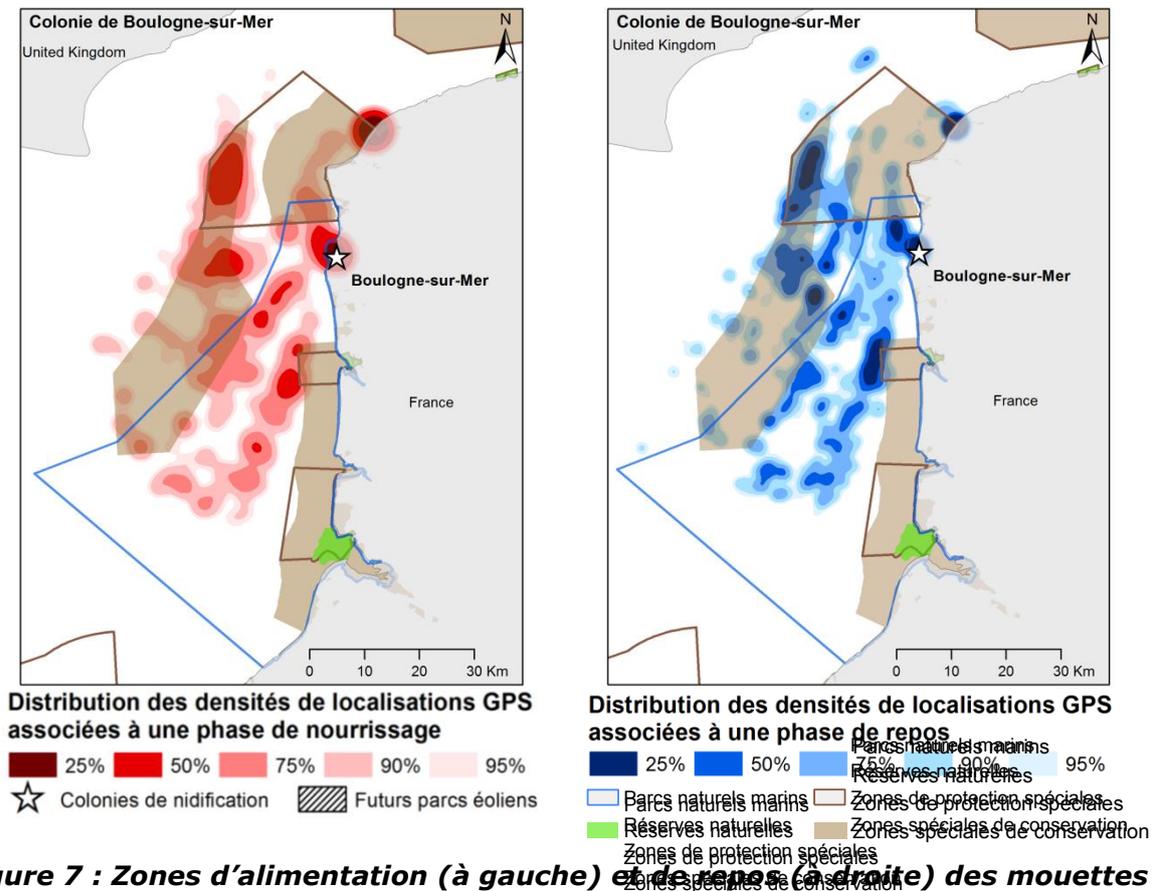


Figure 7 : Zones d'alimentation (à gauche) et de repos (à droite) des mouettes tridactyles nichant dans la colonie de Boulogne-sur-Mer.

Les individus de la colonie de Boulogne sur Mer se nourrissent depuis le Nord-Ouest jusqu'au Sud-Ouest de la colonie et ne s'approchent pas trop des côtes britanniques. Les zones d'alimentation et de repos se chevauchent fortement mais les secondes sont beaucoup plus étirées (Figure 7). En effet, lorsque les mouettes se reposent sur l'eau, elles dérivent avec le courant. Comme dans cette zone, la Manche se rétrécit, les courants sont plus forts et le déplacement des individus posés sur l'eau est d'autant plus détectable.

Il faut noter que la zone d'alimentation et de repos mise en évidence sur le continent, au Nord-Est de la colonie, correspond en fait aux visites de prospection effectué par l'individu #16 nichant à Boulogne-sur-Mer (Annexe 2).

III.4.2. Colonie de Fécamp et Saint-Pierre-du-Mont

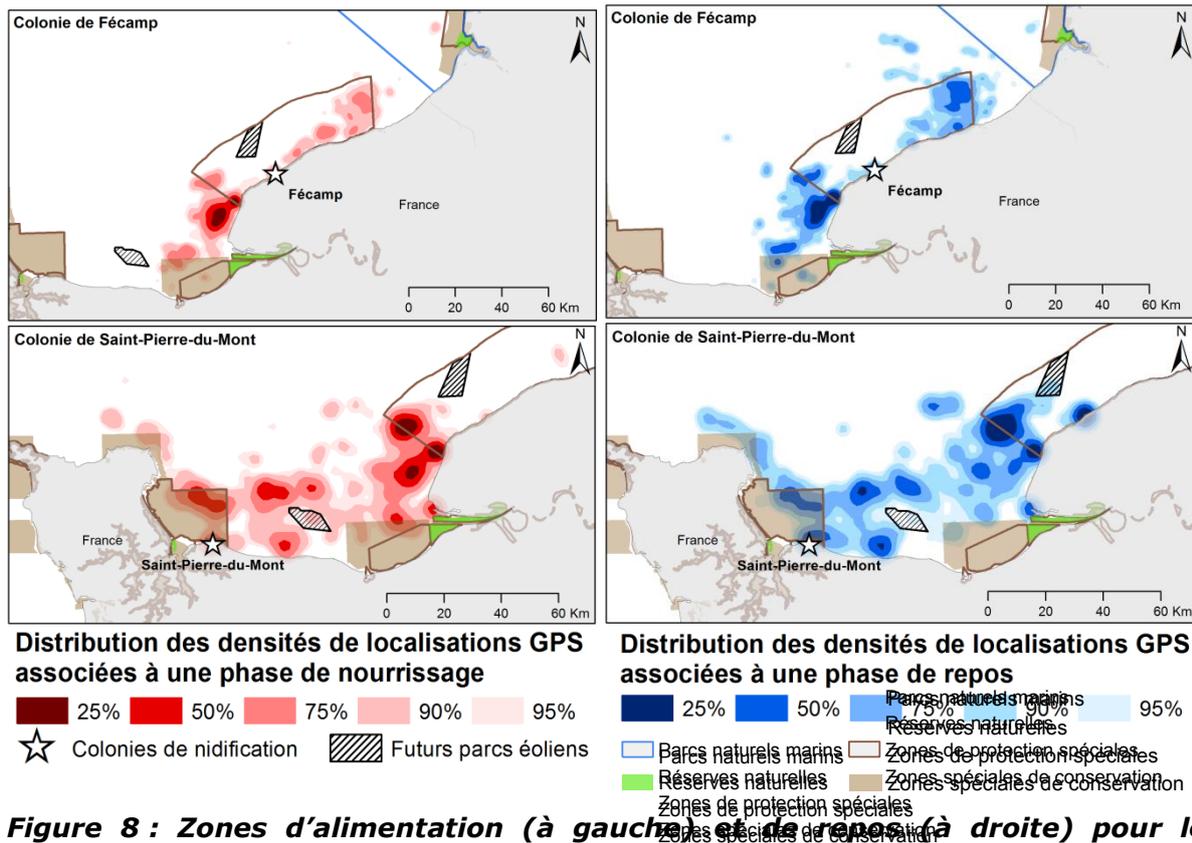


Figure 8 : Zones d'alimentation (à gauche) et de repos (à droite) pour les colonies de Fécamp (en haut) et Saint-Pierre-du-Mont (en bas).

Les individus nichant à Fécamp semblent avoir des zones d'alimentation bien spécifiques (Figure 8 haut). Alors qu'elles pourraient exploiter une vaste zone autour de leur colonie, du Sud-Ouest au Nord-Est, elles vont se nourrir majoritairement dans une zone située au Sud-Ouest, en face du Havre, et de manière moins intensive, au large de Dieppe. Elles restent très côtières et ne semblent pas utiliser des zones situées à plus de 20 km des côtes françaises. Les zones de repos sont beaucoup moins étirées spatialement par rapport à celles des individus nichant à Boulogne-sur-Mer, suggérant que les courants sont moins forts dans cette zone. De manière surprenante, les individus nichant à Fécamp évitent la zone située entre l'Ouest et le Nord de la colonie, là où sera implanté le parc éolien de Fécamp.

Les individus nichant à Saint-Pierre-du-Mont utilisent la plus grande surface (Figure 1) et s'éloignent le plus de leur colonie en moyenne (Tableau 3). Plusieurs zones d'alimentation ont été identifiées, au large de la colonie mais aussi au large du Havre et de la colonie de Fécamp (Figure 8 bas). Les zones de repos sont très similaires aux zones d'alimentation, confirmant que les courants sont moindres dans ce secteur. Les densités de kernels montrent que les mouettes nichant à Saint-Pierre-du-Mont fréquentent la zone d'implantation du parc éolien de Courseulles mais la valeur de ces densités (de 75 à 90%) indique plutôt une zone de transition plutôt qu'une zone de forte activité de nourrissage ou de repos (Figure 8 bas).

III.4.3. Cohérence avec le réseau d'aires marines protégées actuelles

En identifiant plus précisément les zones d'alimentation et de repos utilisées par les différentes colonies (figures 6 à 8), on peut confirmer:

- L'importance de la partie Nord du Parc naturel marin, de la ZPS du « Cap gris Nez » et de la SIC « Ridens et dunes hydrauliques du détroit du Pas-de-Calais » pour l'alimentation et le repos des mouettes tridactyles nichant à Boulogne-sur-Mer.
- l'importance de la ZPS « Baie de Seine occidentale », la zone située au large du Cap de la Hève (Est de la Baie de Seine) et, dans une moindre mesure, la partie centrale de la Baie de Seine pour l'alimentation et le repos des mouettes tridactyles nichant à Saint-Pierre-du-Mont.
- l'utilisation préférentielle d'un secteur situé à l'Ouest de la ZPS « Littoral Seino-Marin » (Cap de la Hève/Antifer) et dans une moindre mesure, l'extrême Nord-Est de la ZPS pour l'alimentation et le repos des mouettes tridactyles de Fécamp.

Afin de vérifier ces hypothèses, une année de suivi supplémentaire serait nécessaire. Il serait également intéressant de calculer un taux de fréquentation des différentes AMP présentes dans le secteur en fonction de l'activité des oiseaux (repos ou alimentation) afin de vérifier la suffisance du réseau pour satisfaire les besoins de ces oiseaux en période de nidification.

III.5. Modélisation de l'habitat

III.5.1. Paramétrisation et performance des modèles

Les tests de corrélation des variables environnementales ont conduit à l'exclusion de 4 à 6 variables dans les modèles d'habitat (Tableau 4).

Tableau 4 : Variables incluses/exclues dans chaque modèle d'habitat

Modèle	Variables incluses	Variables exclues
Boulogne-sur-Mer	Bathym, GrBathym, GrSST, GrCHLA, varCHLA, EKE, GrSSS, CHLA, varSSS	SLA, SSS, SST, varSST
Fécamp	SST, GrSSS, SLA, GrCHLA, GrSSTgrad, EKE, Bathym	GrBathym, SSS, varSSS, CHLA, varCHLA, varSST
Saint-Pierre-du-Mont	varSST, GrSSS, GrSST, GradCHLA, varSSS, EKE, GrBathym	SLA, Bathym, SSS, SST, CHLA, varCHLA
3 colonies	SSTvar, SSTgrad, varSSS, SLA, CHLA, GrCHLA, EKE, Bathym, SSS, BathymGrad, SSSgrad	varCHLA, SST

Bathym=Bathymétrie, GrBathym=Gradient de Bathym, SST= Température de surface, GrSST= Gradient de SST, VarSST= Variance de SST, SSS= Salinité de surface, GrSSS= Gradient de SSS, VarSSS= Variance de SSS, CHLA= Concentration en chlorophylle, GrCHLA= Gradient de CHLA, VarCHLA= Variance de CHLA, EKE=Courants géostrophiques, SLA= Anomalies de hauteurs d'eau

Les sorties de modèles sont relativement robustes à la vue des AUC obtenus, tous supérieurs à 0.9. Néanmoins, le modèle construit sur les données des 3 colonies est légèrement moins performant par rapport aux trois autres (Tableau 5), confirmant que les mouettes tridactyles des trois colonies suivies ont des zones d'alimentation et de repos dont les caractéristiques sont différentes et qu'il est plus judicieux d'analyser les trois colonies de manière séparée.

Tableau 5 : Valeur des tests d'AUC qui reflètent la performance et la robustesse du modèle construit

	<i>Boulogne-sur-Mer</i>	<i>Fécamp</i>	<i>Saint-Pierre-du-Mont</i>	<i>Les 3 colonies</i>
AUC	0.981	0.941	0.977	0.935

III.5.2. Utilisation préférentielle des différentes variables environnementales

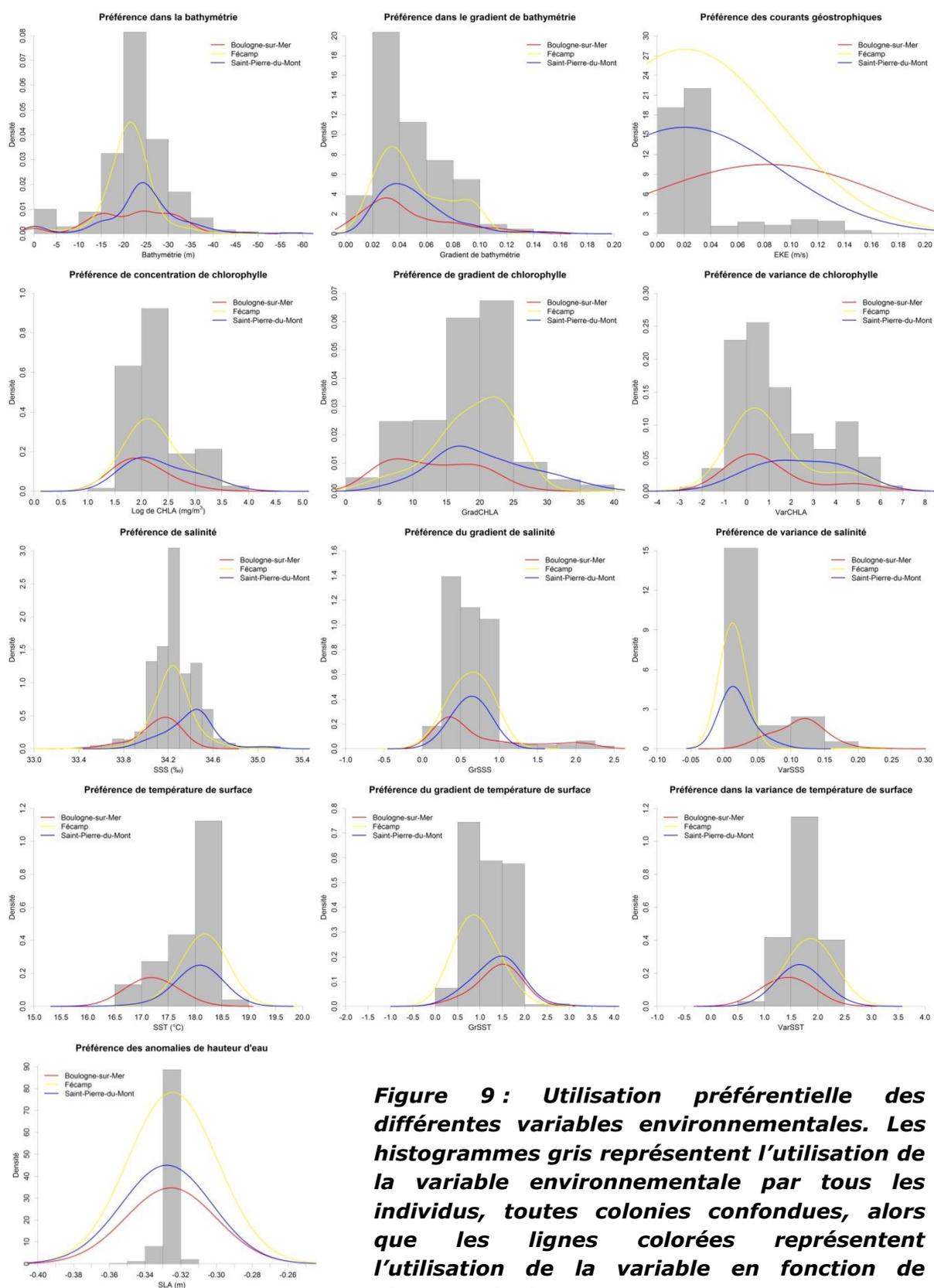


Figure 9 : Utilisation préférentielle des différentes variables environnementales. Les histogrammes gris représentent l'utilisation de la variable environnementale par tous les individus, toutes colonies confondues, alors que les lignes colorées représentent l'utilisation de la variable en fonction de chaque colonie.

De manière générale, les caractéristiques océanographiques des habitats utilisées par les mouettes tridactyles sont similaires entre les 3 colonies puisque les trois courbes colorées suivent les mêmes tendances (Figure 9). Il faut noter quelques exceptions : les mouettes nichant à Boulogne-sur-Mer utilisent des habitats dont les températures de surface sont légèrement plus froides et dont la variance de salinité est plus forte et les mouettes nichant à Fécamp utilisent des habitats dont le gradient de température de surface est plus faible.

III.5.3. Contribution relative des variables environnementales dans la distribution prédite des oiseaux

L'importance de caractéristiques environnementales est très différente entre les colonies puisque la contribution relative des variables dans la distribution observée des oiseaux n'est pas la même (Tableau 6). Par exemple, la variable la plus importante pour les oiseaux nichant à Fécamp est la température de surface, qui explique à elle seule 51.6% de la distribution observée des oiseaux. Lorsque l'on considère toutes les colonies, c'est le gradient de bathymétrie qui est le plus important, contribuant à expliquer 31.9% de la distribution observée des oiseaux.

Tableau 6 : Contribution relative (en %) des différentes variables environnementales dans la distribution observée des mouettes tridactyles dans la Manche. Les 3 variables qui ont le plus d'importance sont indiquées en gras.

<i>Variable</i>	<i>Boulogne-sur-Mer</i>	<i>Fécamp</i>	<i>Saint-Pierre-du-Mont</i>	<i>Les 3 colonies</i>
Bathym	7.4	9.2	-	1.7
GrBathym	17.7	-	28.8	31.9
SST	-	51.6	-	-
GrSST	25.1	1.7	8.5	11.5
VarSST	-	-	19.1	11.3
SSS	-	3.8	-	3.3
GrSSS	4.8	-	7.8	2.6
VarSSS	23.8	-	7.9	7.6
CHLA	5	-	-	5.2
GrCHLA	2.6	2.9	17.5	3.5
VarCHLA	1.9	-	-	-
EKE	11.8	22	10.3	3.4
SLA	-	8.8	-	17.9

Bathym=Bathymétrie, GrBathym=Gradient de Bathym, SST= Température de surface, GrSST= Gradient de SST, VarSST= Variance de SST, SSS= Salinité de surface, GrSSS= Gradient de SSS, VarSSS= Variance de SSS, CHLA= Concentration en chlorophylle, GrCHLA= Gradient de CHLA, VarCHLA= Variance de CHLA, EKE=Courants géostrophiques, SLA= Anomalies de hauteurs d'eau

Ces proportions sont des valeurs statistiques qui servent à ordonner les variables entre elles mais elles sont difficiles à expliquer biologiquement dans la mesure où l'on ne connaît pas le type de proies ingérées par les mouettes tridactyles. De ce fait, on ne connaît pas la distribution des proies, et par conséquent, on ne sait pas si les mouettes choisissent leur habitat en fonction des caractéristiques environnementales directement ou si leur distribution est une conséquence de la distribution de leurs proies, elles-mêmes influencées par les variables environnementales utilisées.

III.5.4. Résultats des modèles d'habitat

Les prédictions de la distribution en mer des mouettes tridactyles issues des modèles d'habitat confirment les résultats obtenus par la méthode des kernels. Contrairement aux individus nichant dans les deux autres colonies, les individus nichant à Boulogne-sur-Mer ont des probabilités de présence nulles dans les zones d'implantation des parcs éoliens (Figure 10).

La zone d'implantation au large de Fécamp semble être située en marge de l'habitat préférentiel des individus nichant à Fécamp et Saint-Pierre-du-Mont car les probabilités de présence sont autour de 0.3-0.4. En revanche, la zone d'implantation de Courseulles semble être située dans un habitat préférentiel, puisque les probabilités de présence vont de 0.6 à 0.8 pour les deux colonies (Figure 11, 12).

Le travail de modélisation toutes colonies confondues, confirme également que l'habitat préférentiel des mouettes tridactyles est extrêmement côtier et que les mouettes tridactyles nichant à Saint-Pierre-du-Mont et Fécamp sont peu susceptibles de traverser la Manche pour aller se nourrir (Figure 13). Les habitats côtiers français semblent donc être extrêmement importants pour l'alimentation et le repos des mouettes tridactyles.

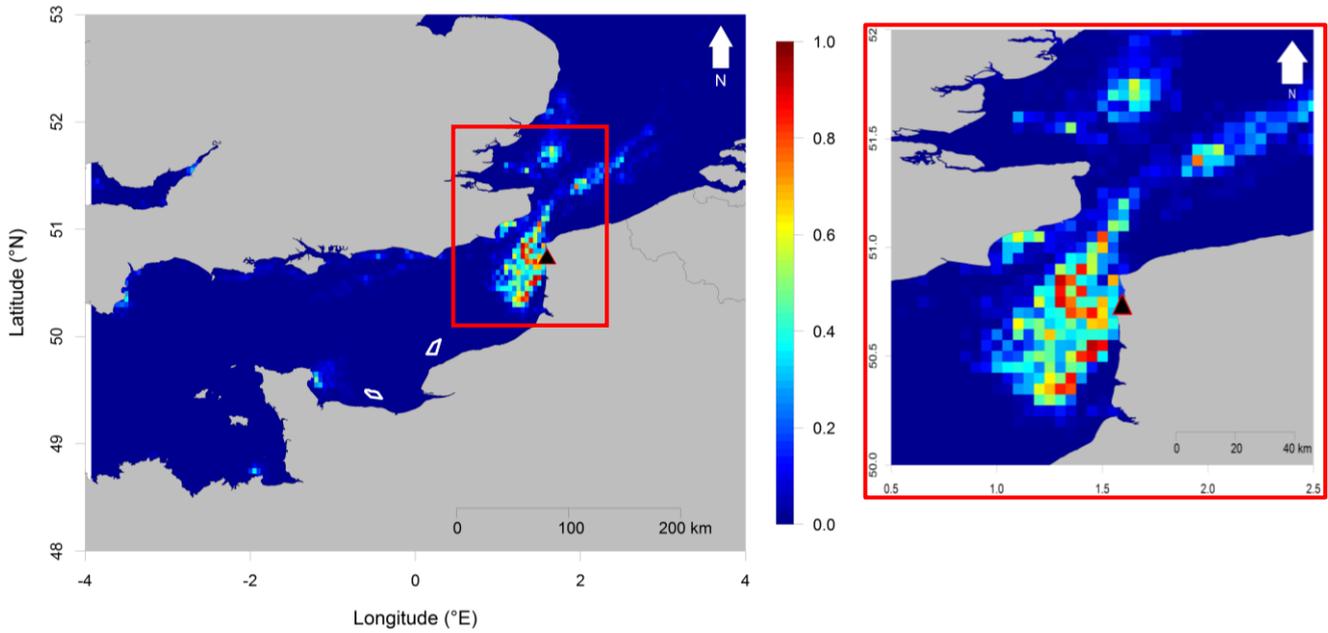


Figure 10 : Probabilités de présence pour les individus nichant à Boulogne-sur-Mer (triangle noirs). Les futurs parcs éoliens sont représentés par les contours blancs.

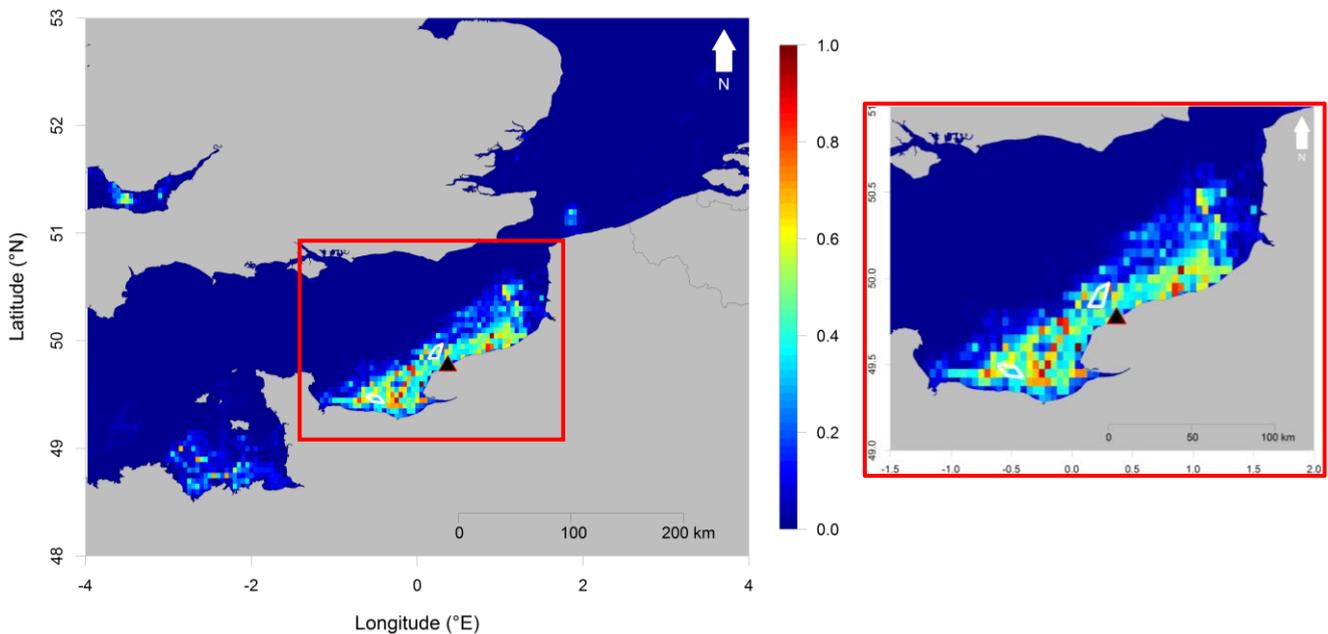


Figure 11 : Probabilités de présence pour les individus nichant à Fécamp (triangle noir). Les futurs parcs éoliens sont représentés par les contours blancs.

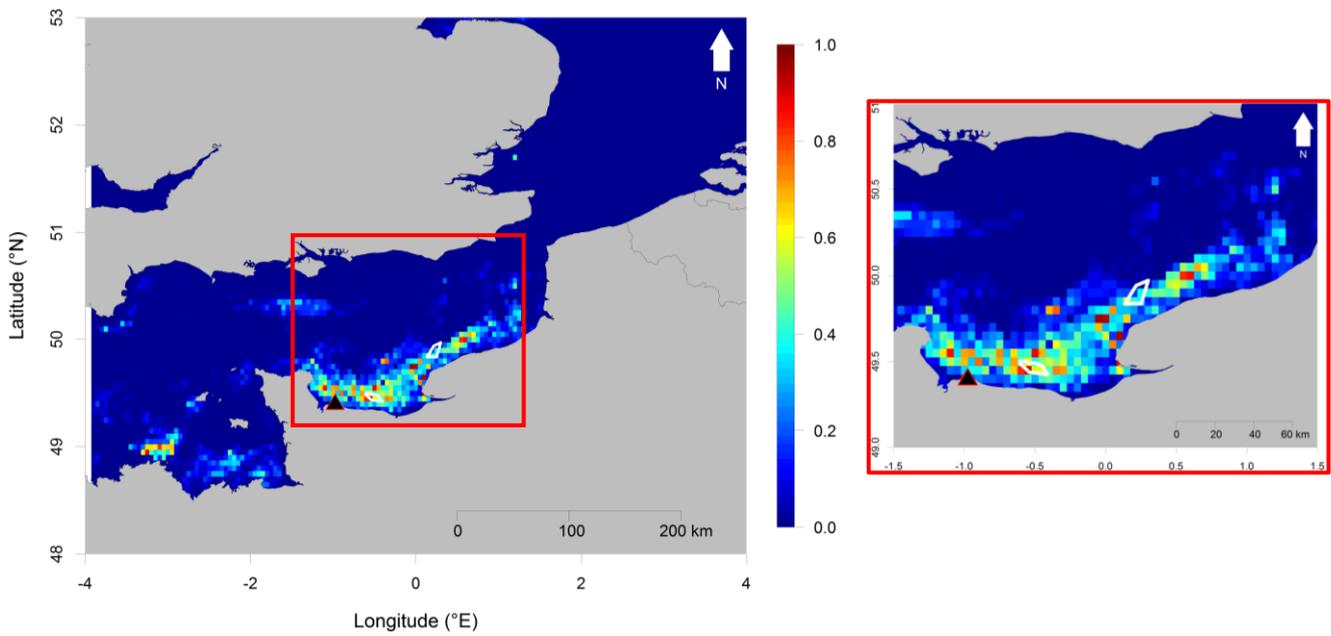


Figure 12 : Probabilités de présence pour les individus nichant à Saint-Pierre-du-Mont (triangles noirs). Les futurs parcs éoliens sont représentés par les contours blancs.

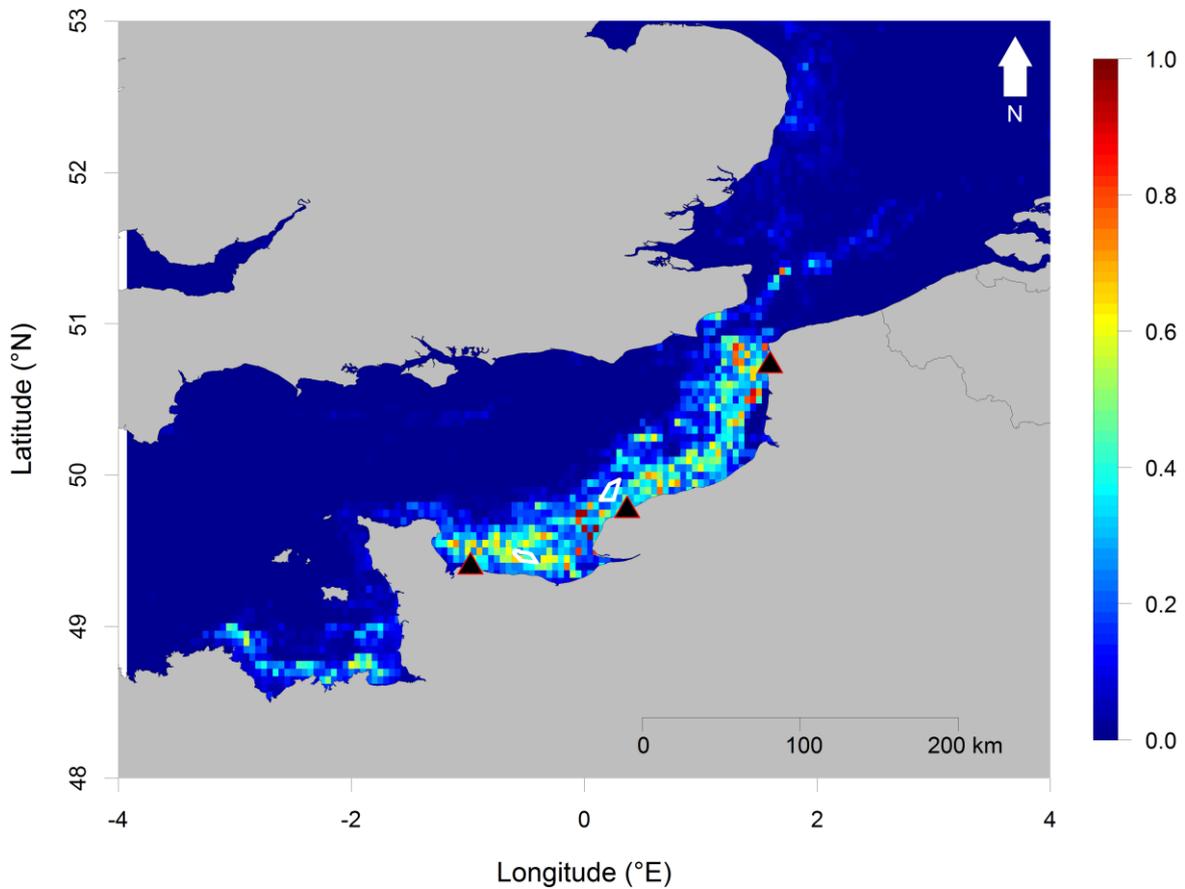


Figure 13 : Probabilités de présence pour tous les individus issus des 3 colonies (triangles noirs). Les futurs parcs éoliens sont représentés par les contours blancs

IV. Premières conclusions et perspectives

IV.1. Importance des zones d'alimentation et de repos des mouettes tridactyles dans la Manche

Le suivi par GPS-UHF de mouettes tridactyles de trois colonies de Normandie et de Picardie en période de nourrissage des jeunes a permis d'identifier leurs principales zones d'alimentation, de repos et de présence. Les résultats obtenus montrent que les mouettes tridactyles en reproduction restent dans un rayon moyen de 30 à 50 km autour de leur colonie de nidification et que les activités de recherche alimentaire et de repos se déroulent dans les mêmes zones. Le suivi de deux individus suspectés d'être en échec de reproduction montre aussi que ces oiseaux visitent d'autres colonies de reproduction et qu'ils sont capables d'utiliser des zones d'alimentation beaucoup plus éloignées.

Les individus nichant à Boulogne-sur-Mer semblent se cantonner aux zones environnant la colonie et ne semblent pas fréquenter les zones situées au large des deux autres colonies. Les distributions de densités montrent que les individus nichant à Fécamp semblent naturellement éviter la zone d'implantation du parc éolien de Fécamp mais les modèles d'habitat révèlent des probabilités de présence de 0.3. La zone d'implantation de Fécamp est donc potentiellement favorable pour l'alimentation et le repos des mouettes tridactyles. En revanche, les individus nichant à Saint-Pierre-du-Mont sont présents sur les zones d'implantation des deux parcs éoliens. Les modèles d'habitat vont dans ce sens et prédisent de fortes probabilités de présence, en particulier dans la zone de Courseulles. Néanmoins, il faut noter que la surface des zone d'implantation des futurs parcs éoliens reste faible en comparaison de la surface prospectée en phase de nourrissage et de repos.

Les modèles d'habitats révèlent également que peu d'autres zones marines proches des trois colonies suivies sont favorables dans la Manche en dehors de celles identifiées dans cette étude, ce qui souligne l'importance des habitats marins côtiers français pour les colonies suivies.

IV.2. Limites de la modélisation en l'absence de connaissances supplémentaires sur l'écologie alimentaire des mouettes tridactyles de la Manche

Les modèles d'habitat servent à identifier les habitats favorables à la présence d'une espèce dans un environnement extrêmement complexe résumé à l'aide de quelques variables clés. Sans connaître le régime alimentaire précis des individus dans les différentes colonies, il est difficile d'expliquer de manière fine la distribution observée et prédite des mouettes tridactyles dans la Manche. D'autre part, les données de distribution et d'abondance des proies potentielles des oiseaux marins (petits poissons pélagiques, crustacés, zooplancton...) sont très rares et difficiles à obtenir lorsqu'elles existent, ce qui limite les inférences écologiques. En l'absence de connaissances approfondies sur l'écologie alimentaire d'une espèce, il vaut mieux limiter le nombre de variables

environnementales incluses dans un modèle d'habitat pour conserver une signification biologique et obtenir des résultats cohérents et interprétables.

L'exercice de modélisation sert donc ici à décrire et prédire la distribution des mouettes tridactyles en fonction des caractéristiques environnementales de leur habitat d'une manière globale. Il ne permet pas d'expliquer pourquoi et comment les mouettes tridactyles choisissent les aires d'alimentation identifiées et il se peut qu'il existe des décalages entre les probabilités de présence prédites et la distribution réelle des oiseaux dans leur environnement.

Une analyse de régurgitats de mouettes tridactyles prélevés lors des captures dans chaque colonie pourrait potentiellement aider à expliquer les différences de distribution observées en fonction des colonies. Une analyse des trajets en mer à plus fine échelle temporelle en lien avec la distribution des proies et les courants de marées pourraient également aider à mieux comprendre les stratégies d'utilisation de l'habitat à l'échelle individuelle.

IV.3. Limites du suivi sur une seule saison de reproduction

La mouette tridactyle est une espèce très sensible aux conditions environnementales, particulièrement aux variations de la distribution et de l'abondance de ses proies, des petits poissons pélagiques (Furness & Tasker 2000; Frederiksen *et al.* 2005). Elle ne pêche qu'à la surface de la mer et n'exploite que quelques espèces de proies seulement. Chaque colonie se nourrit sur une espèce préférentielle différente. Par exemple, les individus nichant sur les côtes britanniques se nourrissent préférentiellement de lançons équilles *Ammodytes marinus* (Lewis *et al.* 2001; Daunt *et al.* 2002) alors que celles nichant sur les côtes de la mer de Barents préfèrent les capelans atlantiques *Mallotus villosus* (Barrett 2007). Les stratégies alimentaires sont donc très différentes en fonction de la zone de nidification mais elles peuvent également être très différentes au sein d'une même colonie en fonction du stade de reproduction (incubation ou élevage des poussins ; Ponchon *et al.* 2014) et de la disponibilité de leurs proies d'une année sur l'autre (Paredes *et al.* 2014; Robertson *et al.* 2014). Les zones d'alimentation identifiées dans cette étude ne sont donc pas forcément représentatives de la totalité des aires d'alimentation et de repos utilisées par les individus, puisqu'elles sont susceptibles de varier chaque année en fonction des conditions environnementales. De plus, les distributions prédites par les modèles d'habitat sont basées sur un nombre limité de variables environnementales, parfois extrêmement dynamiques dans le temps et dont les valeurs sont moyennées pour obtenir un résultat unique et statique sur une période donnée. Enfin, les analyses menées ici n'intègrent aucune donnée individuelle, tel que l'âge ou le sexe, ou des interactions écologiques telles que la compétition intra- ou inter-spécifique qui pourraient engendrer des différences de stratégies d'alimentation entre les individus. Les résultats issus de l'estimation des distributions de densité et de la modélisation de l'habitat préférentiel des mouettes tridactyles représentent donc l'utilisation moyenne d'un habitat sur une période donnée, considérant que tous les individus sont semblables et qu'ils choisissent leurs zones d'alimentation de la même façon.

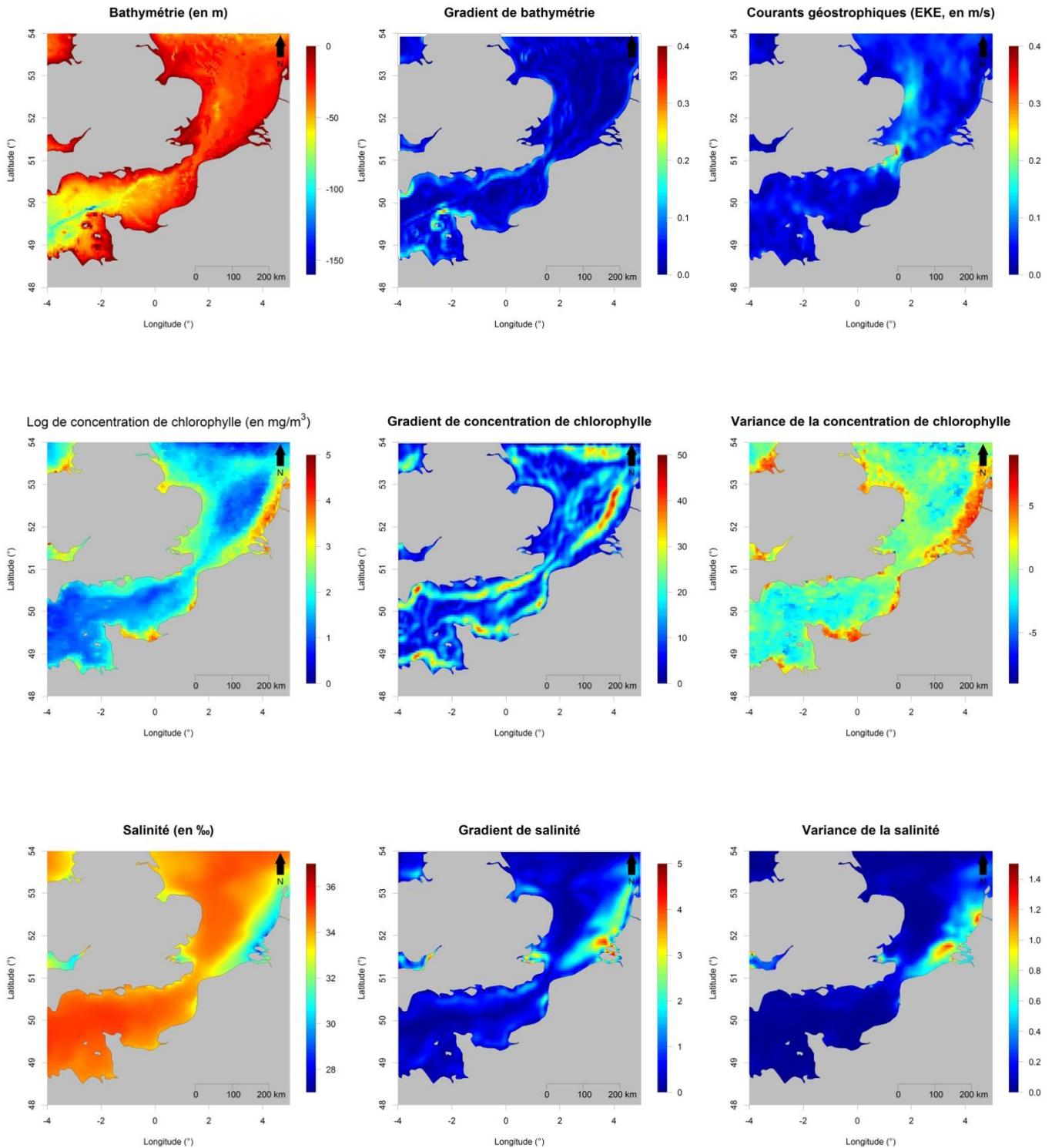
Les suivis GPS devraient être renouvelés dans le futur pour déterminer si l'utilisation spatiale de la mer de la Manche par les mouettes tridactyles nichant sur les côtes françaises est similaire d'une année sur l'autre et si la fréquentation par les mouettes tridactyles des habitats marins identifiés dans cette étude est similaire sur le long-terme. D'autre part, une estimation du succès de reproduction à l'échelle des colonies devrait être faite pour évaluer les conséquences de l'utilisation de l'habitat et des stratégies d'alimentation observée sur le succès de reproduction des mouettes tridactyles.

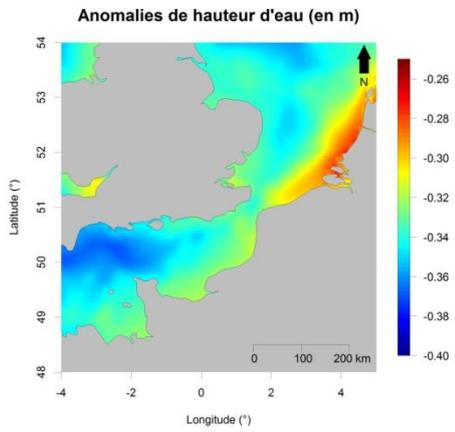
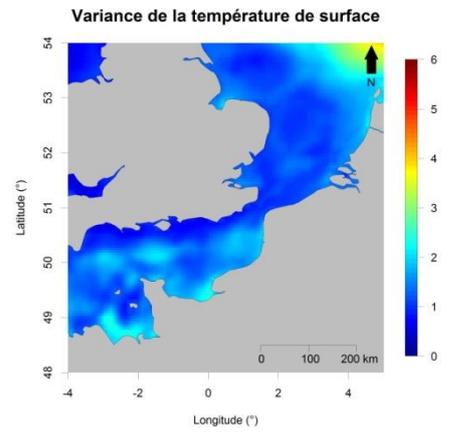
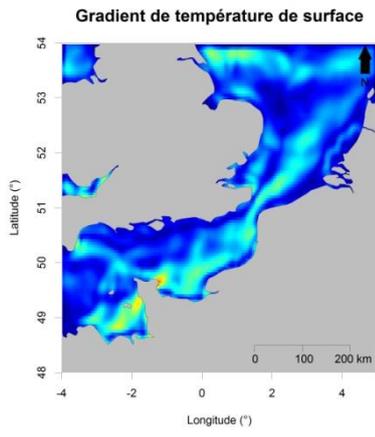
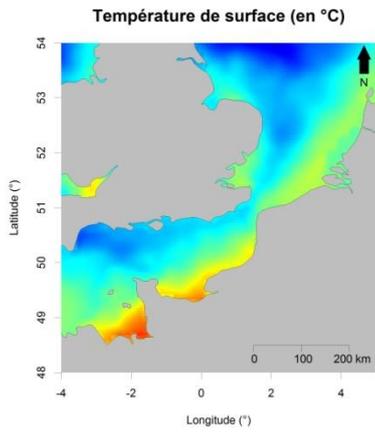
Références bibliographiques

- Barrett, R.T. (2007) Food web interactions in the southwestern Barents Sea: black-legged kittiwakes *Rissa tridactyla* respond negatively to an increase in herring *Clupea harengus*. *Marine Ecology Progress Series*, **349**, 269-276.
- Cadiou, B., Monnat, J.Y. & Danchin, E. (1994) Prospecting in the kittiwake, *Rissa tridactyla*: different behavioural patterns and the role of squatting in recruitment. *Animal Behaviour*, **47**, 847-856.
- Calenge, C. (2006) The package "adehabitat" for the R software: A tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecological Modelling*, **197**, 516-519.
- Daunt, F., Benvenuti, S., Harris, M.P., Dall'Antonia, L., Elston, D.A. & Wanless, S. (2002) Foraging strategies of the black-legged kittiwake *Rissa tridactyla* at a North Sea colony: evidence for a maximum foraging range. *Marine Ecology Progress Series*, **245**, 239-247.
- Debout, G., Gallien, F., Le Guillou, G., Purenne, R., Jacob, Y., Chartier, A., Calais, L. & Le Guillou, D. (2013) Etude des zones d'alimentation des mouettes tridactyles (*Rissa tridactyla*) sur la colonie de Saint-Pierre-du-Mont/14. Année 1 : étude de faisabilité de capture d'adultes nicheurs. Synthèse bibliographique et bilan des essais de capture. *Technical report*, pp. 11.
- Frederiksen, M., Wright, P.J., Harris, M.P., Mavor, R.A., Heubeck, M. & Wanless, S. (2005) Regional patterns of kittiwake *Rissa tridactyla* breeding success are related to variability in sandeel recruitment. *Marine Ecology Progress Series*, **300**, 201-211.
- Furness, R.W. & Tasker, M.L. (2000) Seabird-fishery interactions: quantifying the sensitivity of seabirds to reductions in sandeel abundance, and identification of key areas for sensitive seabirds in the North Sea. *Marine Ecology Progress Series*, **202**, 253-264.
- Grémillet, D., Dell'Omo, G., Ryan, P.G., Peters, G., Ropert-Coudert, Y. & Weeks, S.J. (2004) Offshore diplomacy, or how seabirds mitigate intra-specific competition: a case study based on GPS tracking of Cape gannets from neighbouring colonies. *Marine Ecology Progress Series*, **268**, 265-279.
- Lewis, S., Wanless, S., Wright, P.J., Harris, M.P., Bull, J. & Elston, D.A. (2001) Diet and breeding performance of black-legged kittiwakes *Rissa tridactyla* at a North Sea colony. *Marine Ecology Progress Series*, **221**, 277-284.
- Louzao, M., Delord, K., Garcia, D., Boué, A. & Weimerskirch, H. (2012) Protecting persistent dynamic oceanographic features: transboundary conservation efforts are needed for the critically endangered Balearic shearwater. *PLoS ONE*, **7**, e35728.
- Paredes, R., Orben, R.A., Suryan, R.M., Irons, D.B., Roby, D.D., Harding, A.M.A., Young, R.C., Benoit-Bird, K., Ladd, C., Renner, H., Heppell, S., Phillips, R.A. & Kitaysky, A.S. (2014) Foraging responses of black-legged kittiwakes to prolonged food-shortages around colonies on the Bering Sea shelf. *PLoS ONE*, **9**, e92520.
- Péron, C., Weimerskirch, H. & Bost, C.-A. (2012) Projected poleward shift of king penguins' (*Aptenodytes patagonicus*) foraging range at the Crozet Islands,

- southern Indian Ocean. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **279**, 2515-2523.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P. & Schapire, R.E. (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, **190**, 231-259.
- Phillips, S.J. & Dudík, M. (2008) Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, **31**, 161-175.
- Ponchon, A., Grémillet, D., Christensen-Dalsgaard, S., Erikstad, K.E., Barrett, R.T., Reiertsen, T.K., McCoy, K.D., Tveraa, T. & Boulinier, T. (2014) When things go wrong: intra-season dynamics of breeding failure in a seabird. *Ecosphere*, **5**, Art. 4.
- Ponchon, A., Grémillet, D., Doligez, B., Chambert, T., Tveraa, T., González-Solís, J. & Boulinier, T. (2013) Tracking prospecting movements involved in breeding habitat selection: insights, pitfalls and perspectives. *Methods in Ecology and Evolution*, **4**, 143-150.
- R Core Team (2013) R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*. Vienna, Austria.
- Reed, J.M., Boulinier, T., Danchin, E. & Oring, L.W. (1999) Informed dispersal: prospecting by birds for breeding sites. *Current Ornithology*, **15**, 189-259.
- Robertson, G.S., Bolton, M., Grecian, W.J. & Monaghan, P. (2014) Inter- and intra-year variation in foraging areas of breeding kittiwakes (*Rissa tridactyla*). *Marine Biology*, **161**, 1973-1986.
- Thaxter, C.B., Lascelles, B., Sugar, K., Cook, A.S.C.P., Roos, S., Bolton, M., Langston, R.H.W. & Burton, N.H.K. (2012) Seabird foraging ranges as a preliminary tool for identifying candidate Marine Protected Areas. *Biological Conservation*, **156**, 53-61.
- Worton, B.J. (1989) Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology*, **70**, 164-168.

Annexe 1 : Cartographie des différentes variables environnementales utilisées pour construire les modèles d'habitat





Annexe 2 : Mouvements de prospection des deux individus suspectés d'être en échec de reproduction.

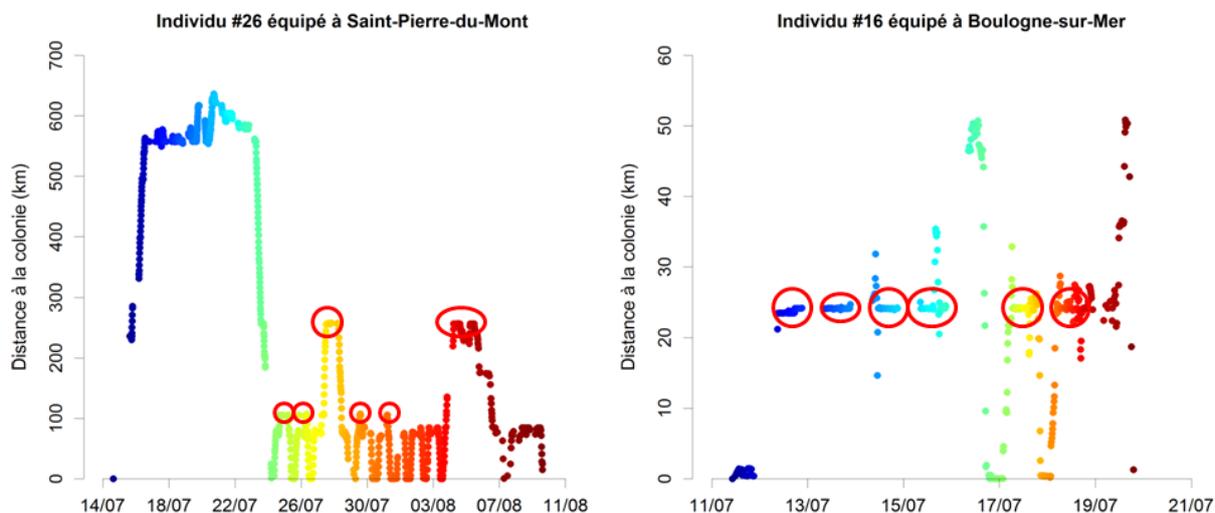


Figure A2.1. Distance à la colonie au cours du temps. Les cercles rouges indiquent la présence prolongée des individus dans une autre colonie que celle où ils ont été équipés.

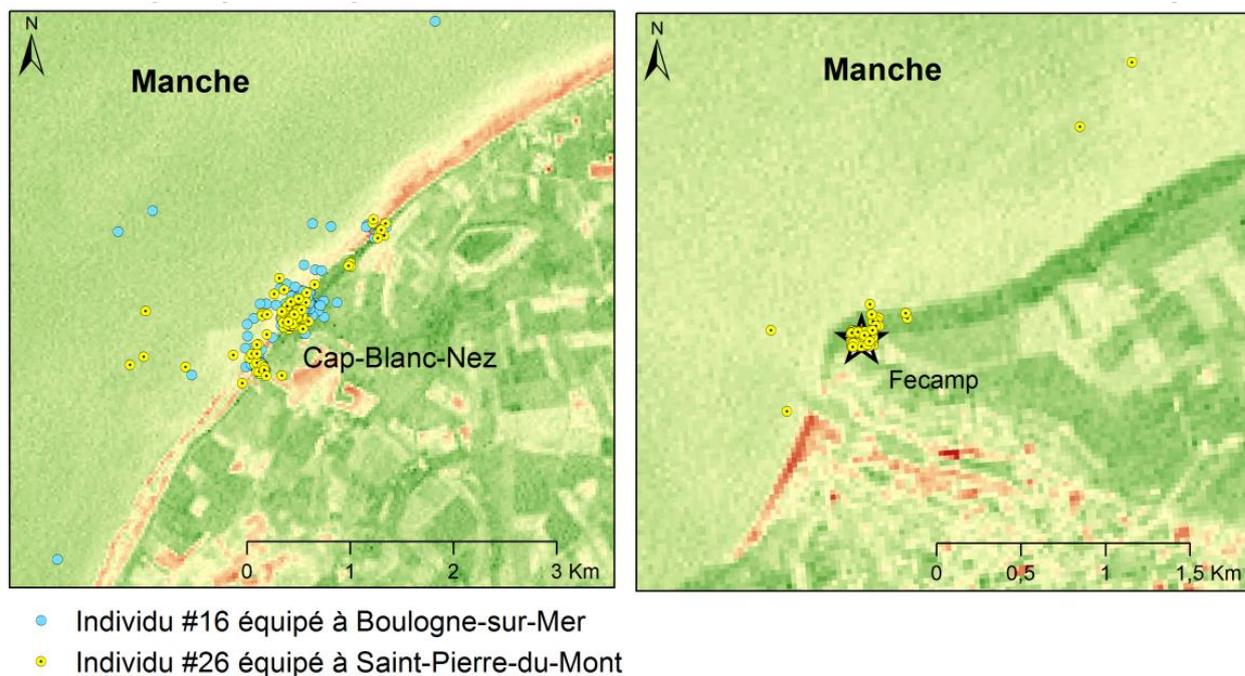
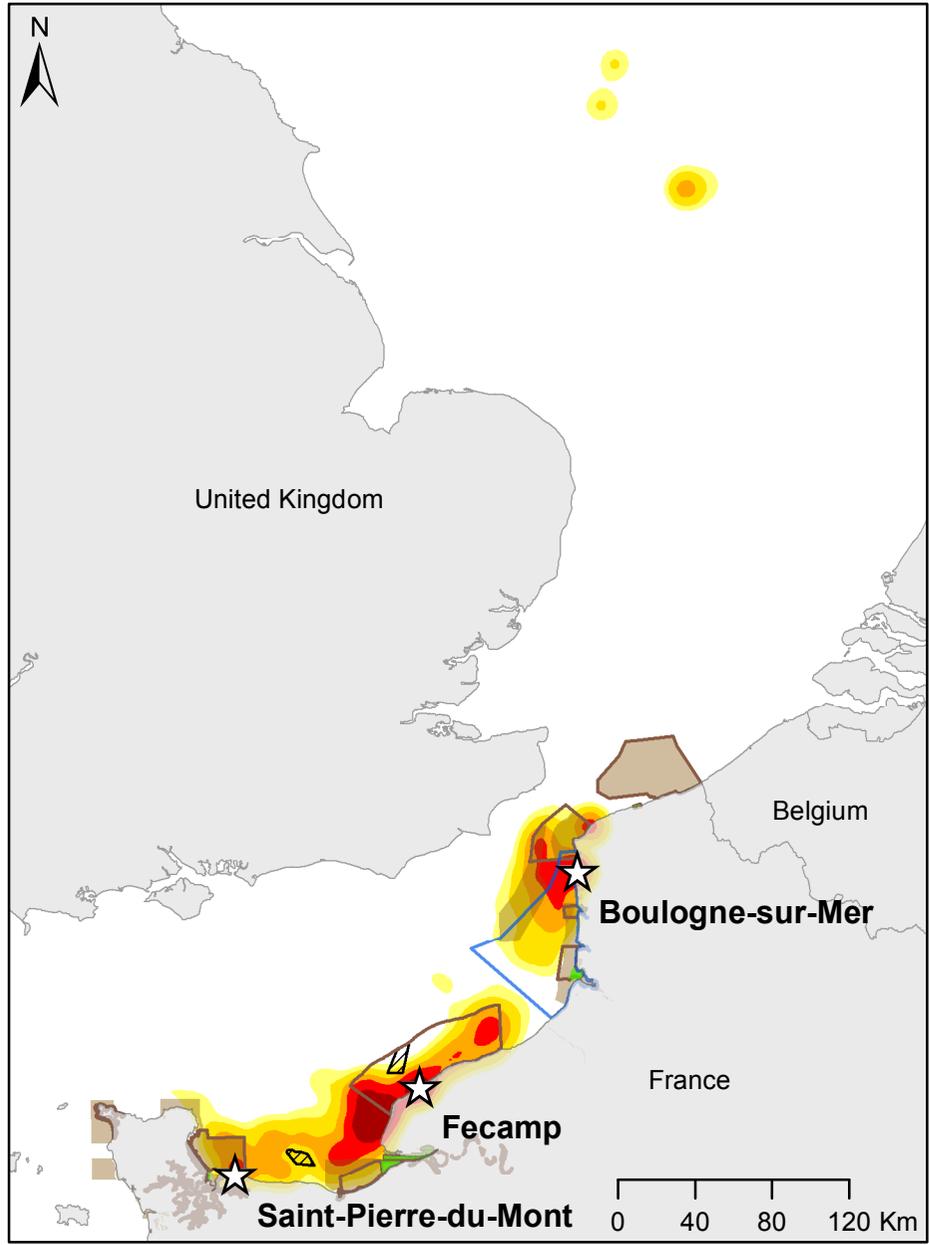
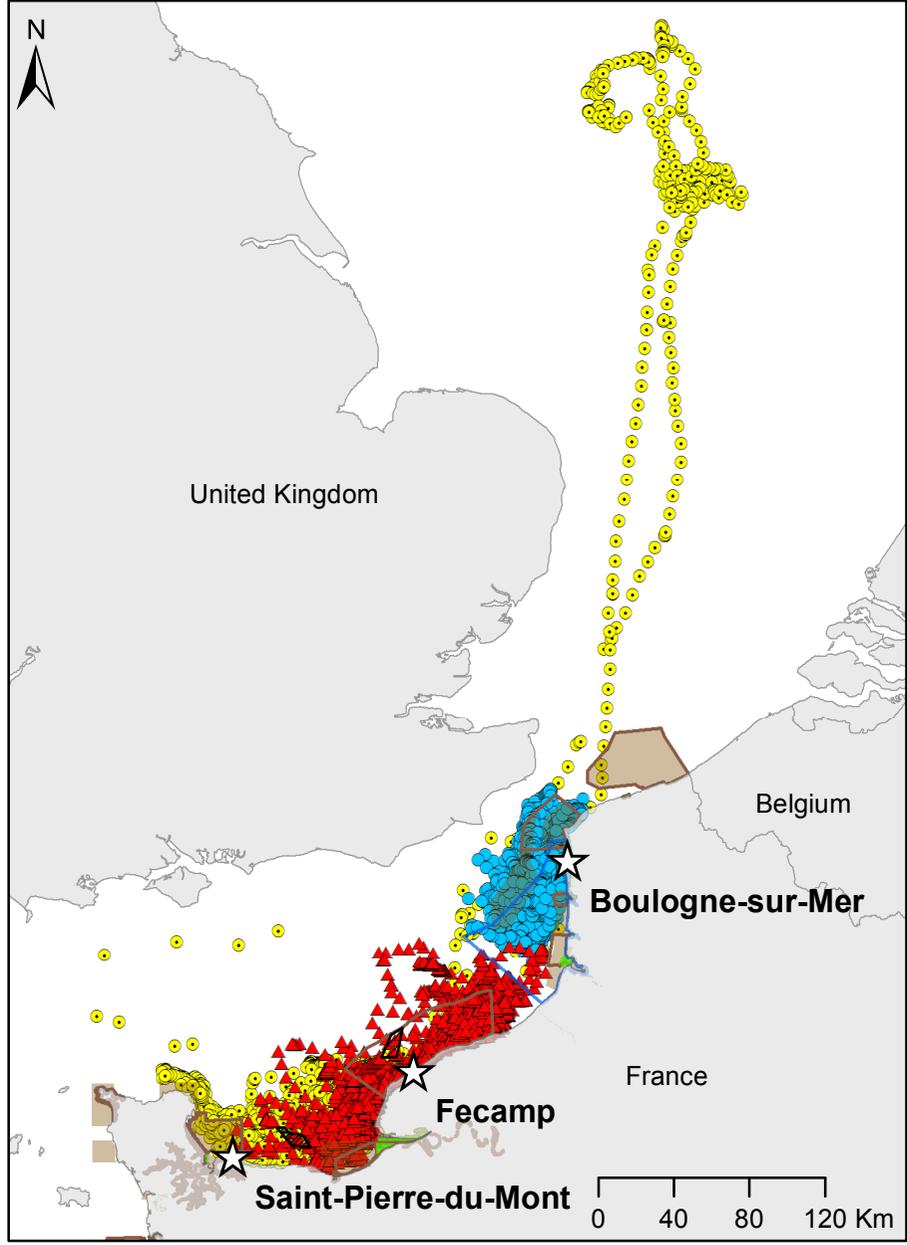


Figure A2.2. Colonies prospectées par les deux individus.

Distribution en mer des mouettes tridactyles nichant sur les côtes de la Manche, toutes colonies confondues



Positions GPS enregistrées

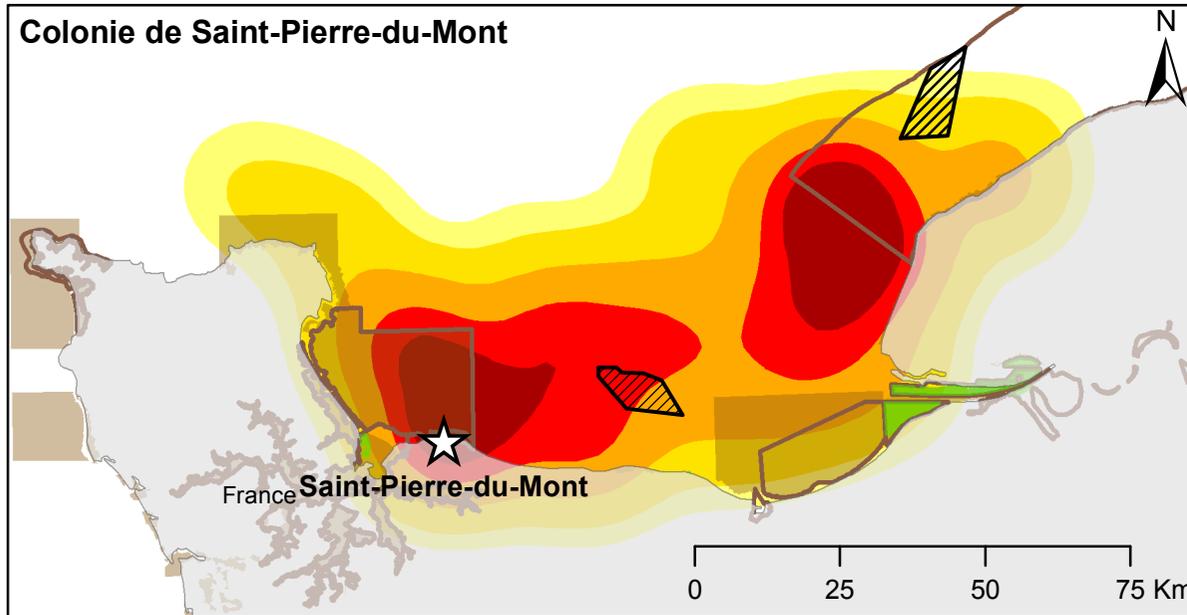
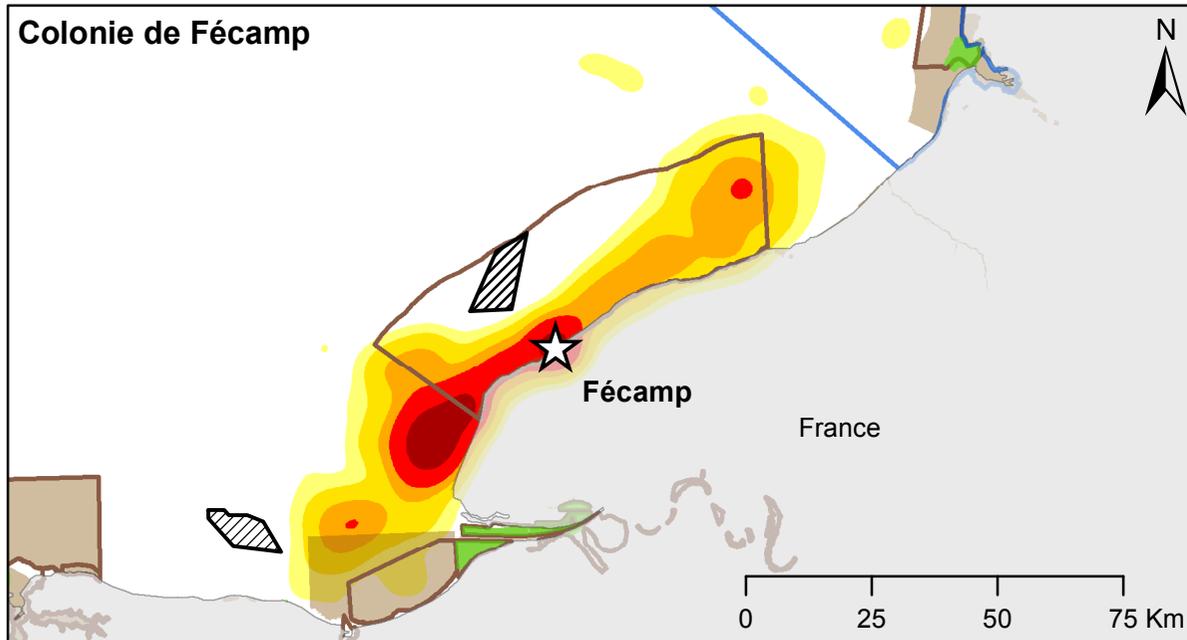
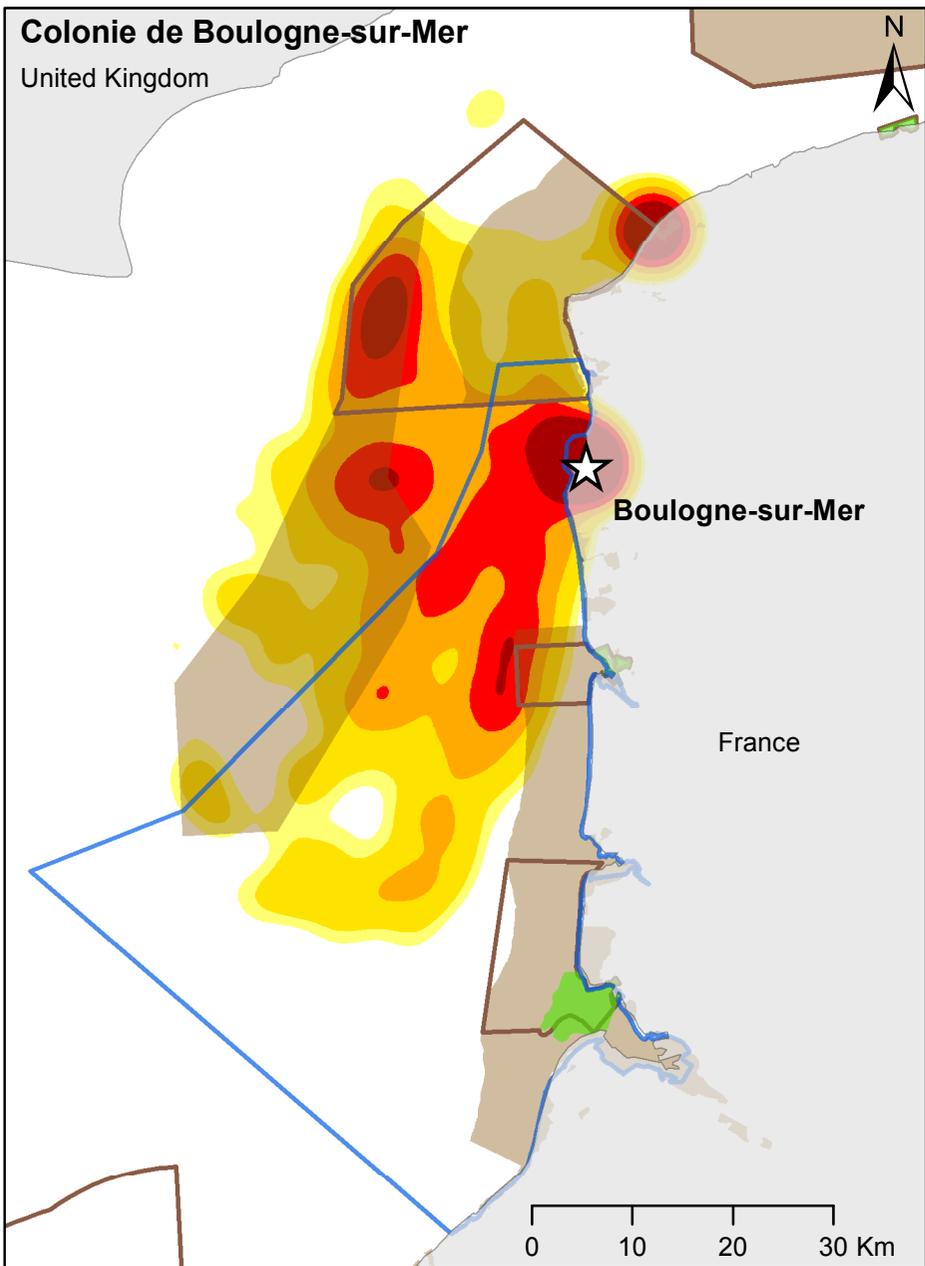
- Boulogne-sur-Mer (12 individus)
- ▲ Fecamp (15 individus)
- Saint-Pierre-du-Mont (13 individus)

Distribution des densités de localisations GPS

- 25%
- 50%
- 75%
- 90%
- 95%
- ☆ Colonies de nidification
- ▨ Futurs parcs éoliens

- Parcs naturels marins
- Réserves naturelles
- Zones de protection spéciales
- Zones spéciales de conservation

Distribution en mer des mouettes tridactyles nichant sur les côtes de la Manche, par colonie



Distribution des densités de localisations GPS

25% 50% 75% 90% 95%

Futurs parcs éoliens ☆ Colonies de nidification

Parcs naturels marins

Réserves naturelles

Zones de protection spéciales

Zones spéciales de conservation

Parc éolien en mer du Calvados

Parc éolien en mer de Fécamp

Agence des aires marines protégées

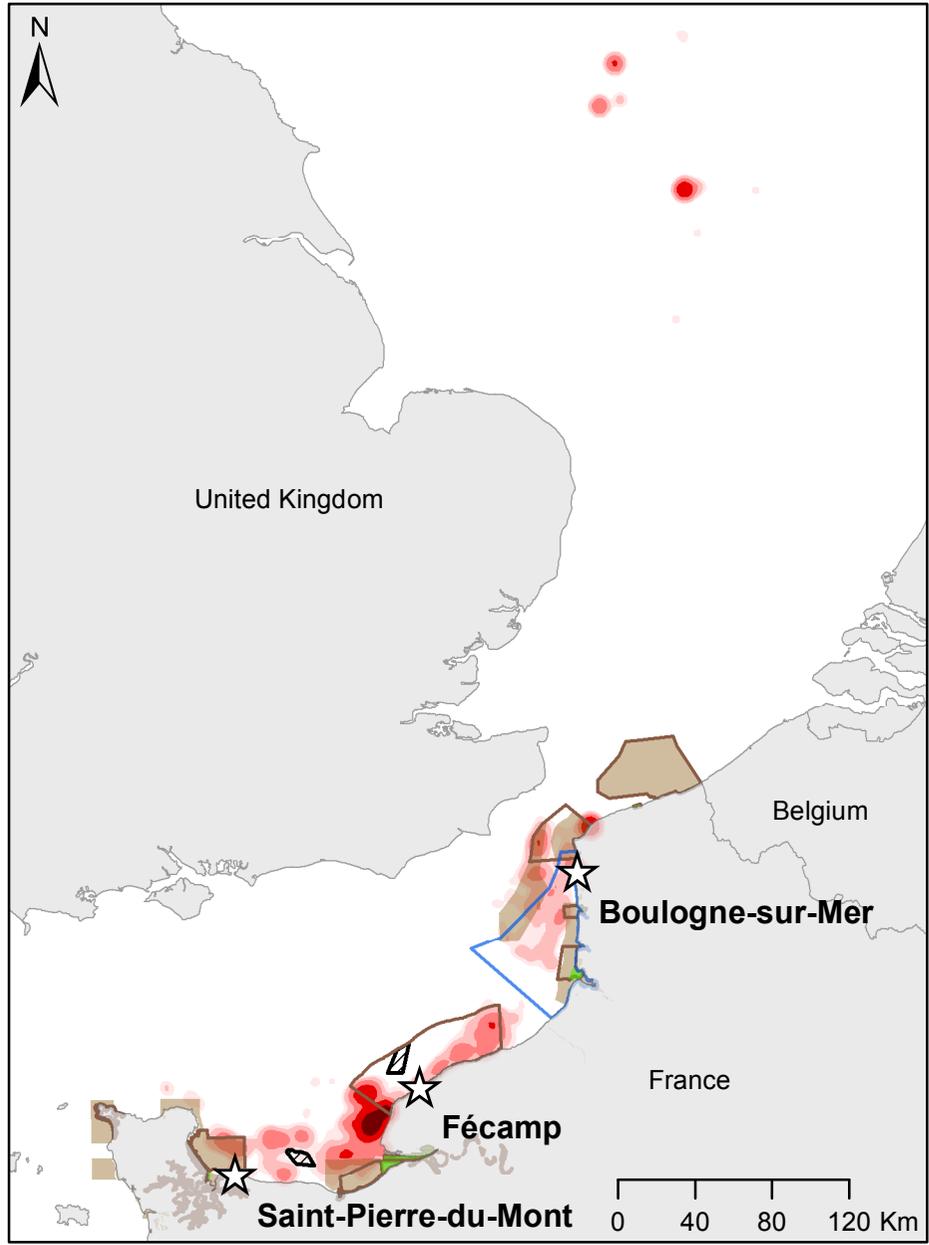
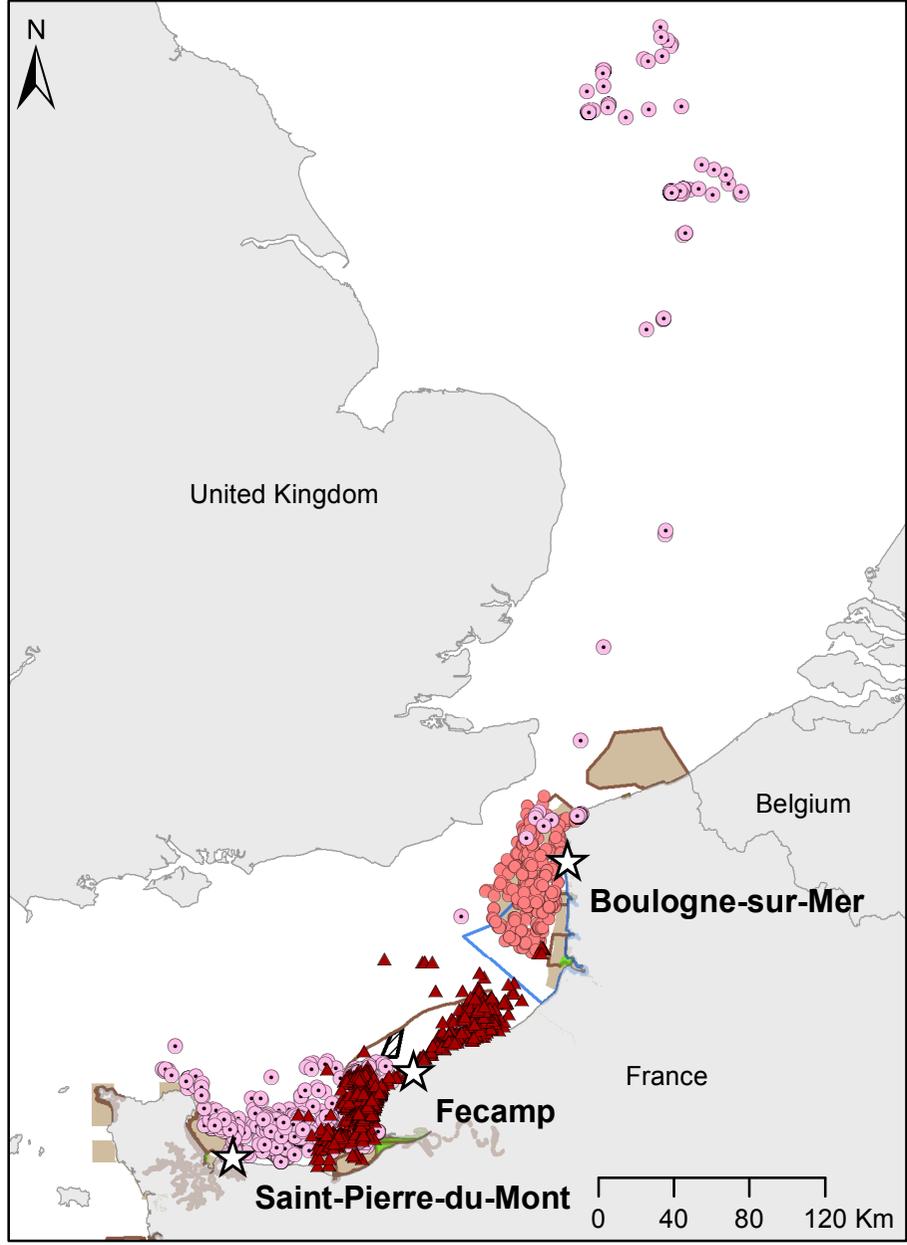
GON

CENTRE D'ÉCOLOGIE FONCTIONNELLE & ÉVOLUTIVE

PANACHE

CRS

Zones d'alimentation des mouettes tridactyles nichant sur les côtes de la Manche, toutes colonies confondues



Positions GPS associées à une phase de nourrissage

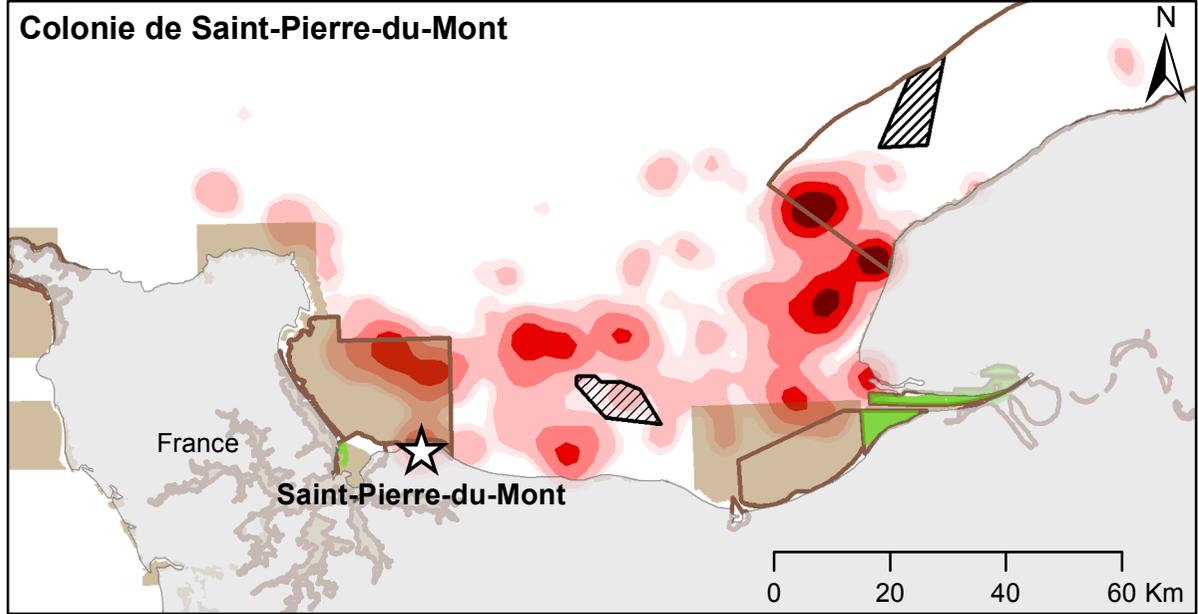
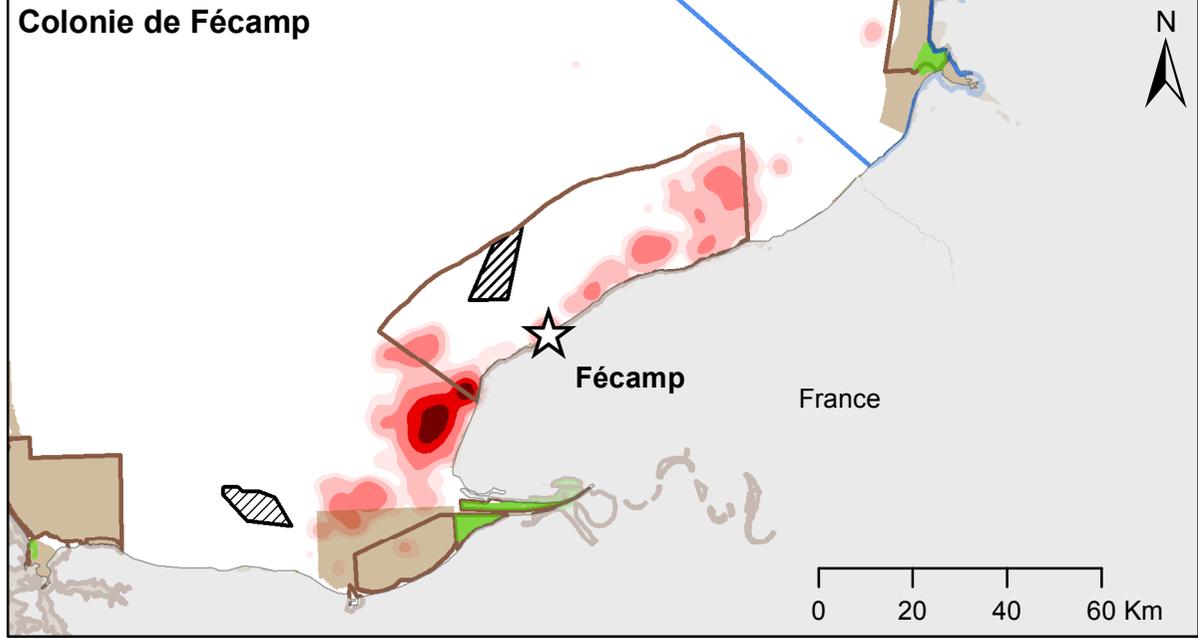
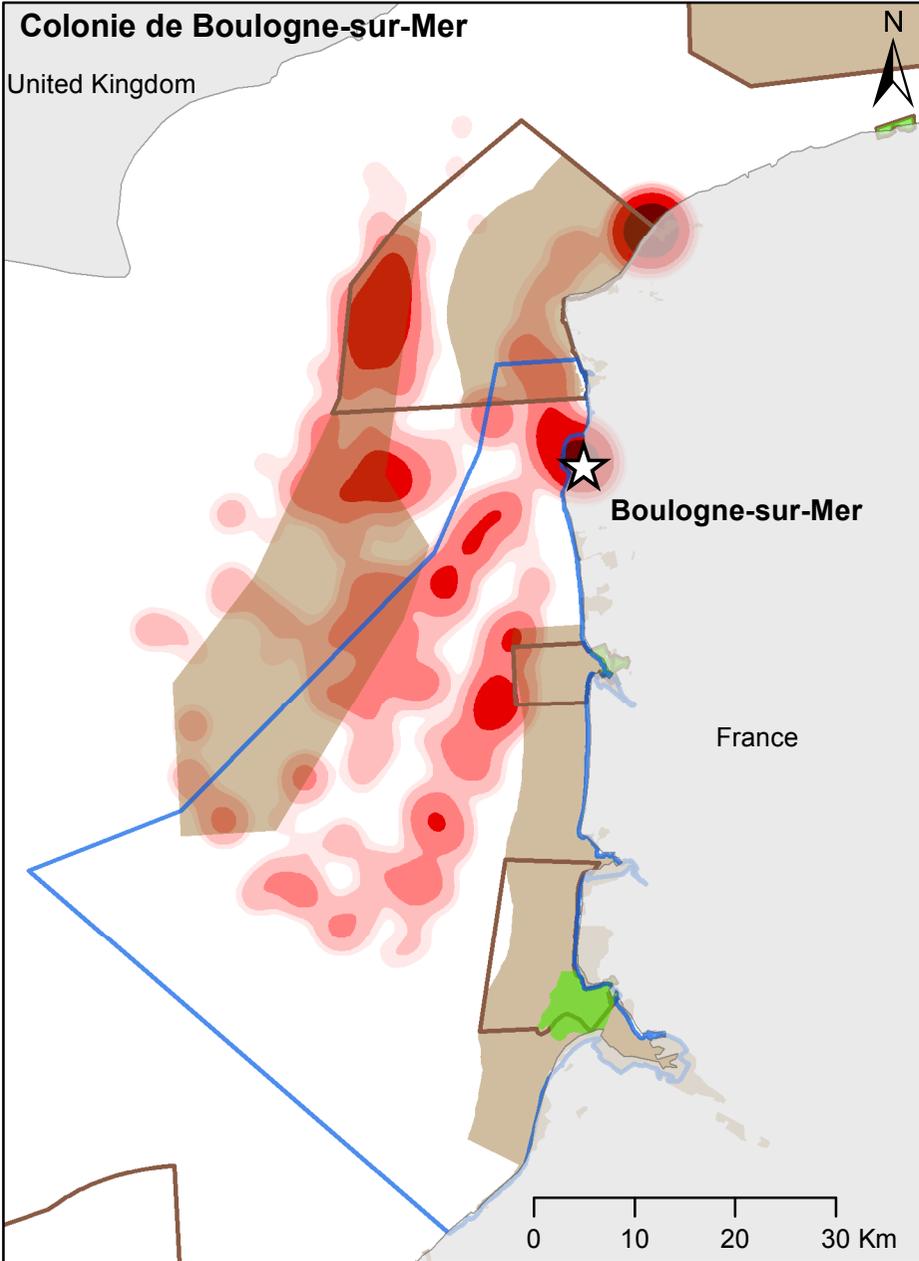
- Boulogne-sur-Mer (12 individus)
- ▲ Fecamp (15 individus)
- Saint-Pierre-du-Mont (13 individus)

Distribution des densités de localisations GPS associées à une phase de nourrissage

- 25%
- 50%
- 75%
- 90%
- 95%
- ☆ Colonies de nidification
- ▨ Futurs parcs éoliens

- Parcs naturels marins
- Réserves naturelles
- Zones de protection spéciales
- Zones spéciales de conservation

Zones d'alimentation des mouettes tridactyles nichant sur les côtes de la Manche, par colonie



Distribution des densités de localisations GPS associées à une phase de nourrissage



-  Parcs naturels marins
-  Réserves naturelles
-  Zones de protection spéciales
-  Zones spéciales de conservation

Parc éolien en mer du Calvados

Parc éolien en mer de Fécamp

Agence des aires marines protégées

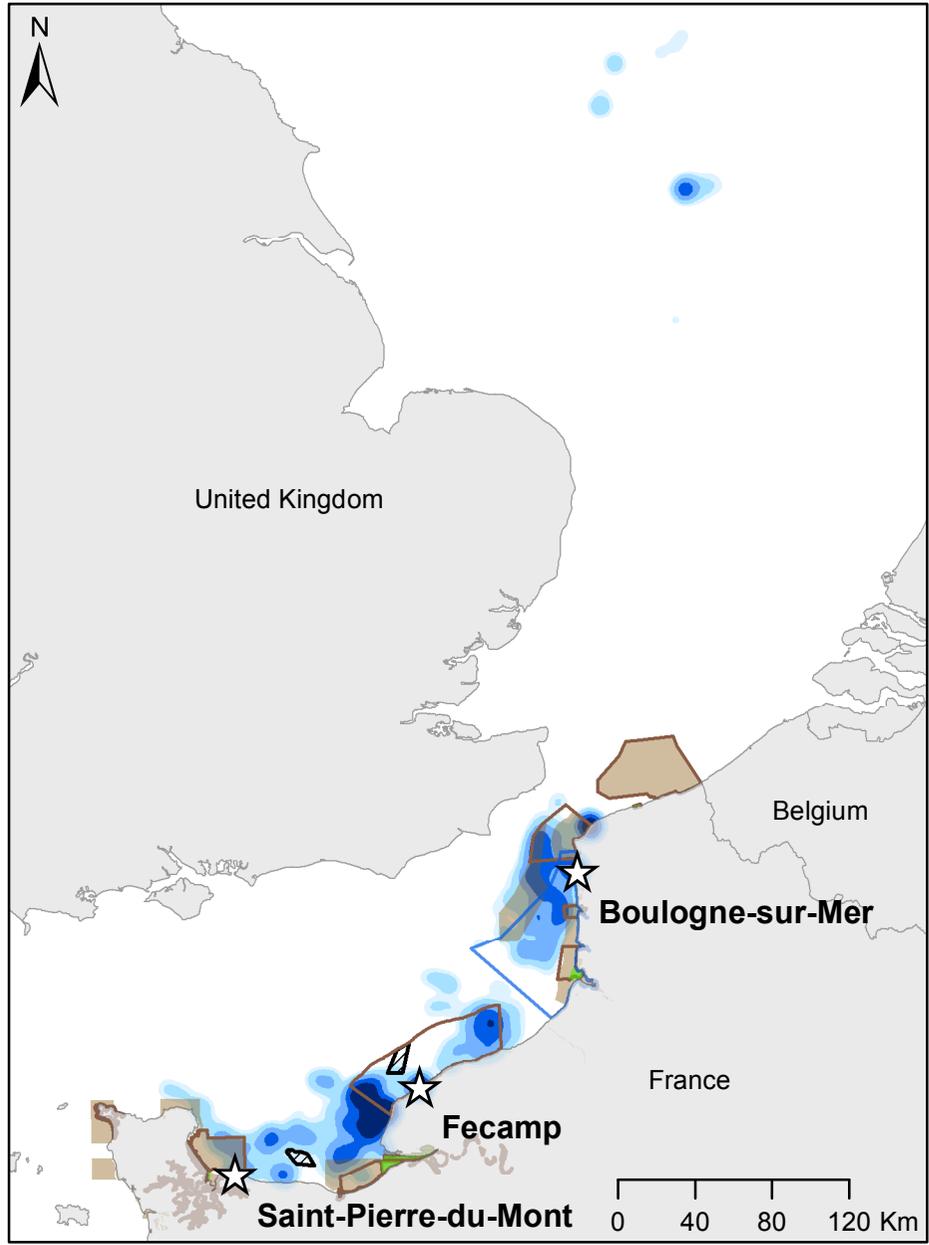
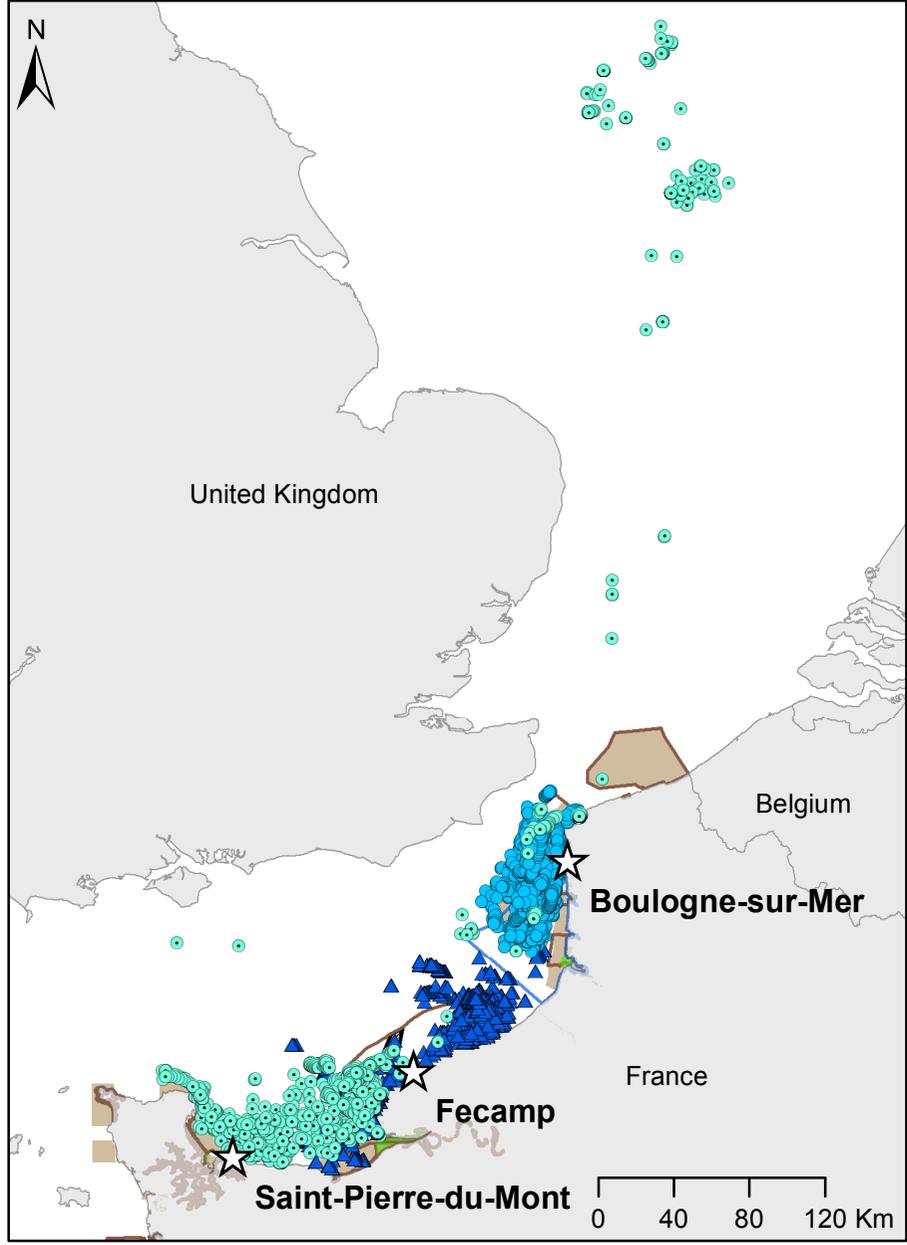
GON

CENTRE D'ÉCOLOGIE FONCTIONNELLE & ÉVOLUTIVE

PANACHE

CNRS

Zones de repos des mouettes tridactyles nichant sur les côtes de la Manche, toutes colonies confondues



Positions GPS associées à une phase de repos

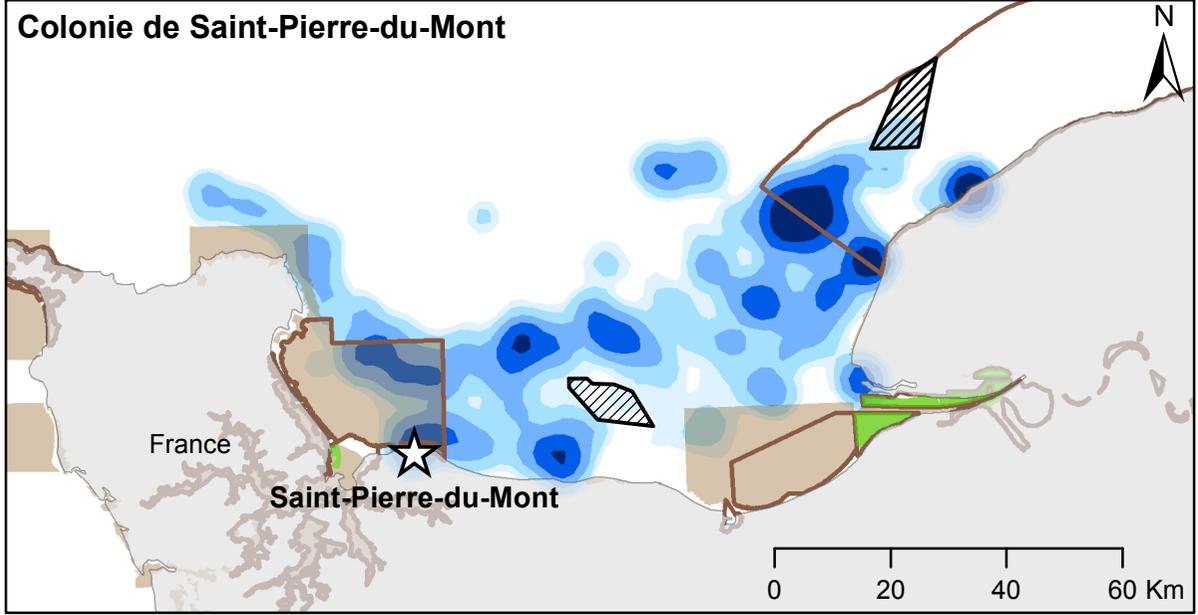
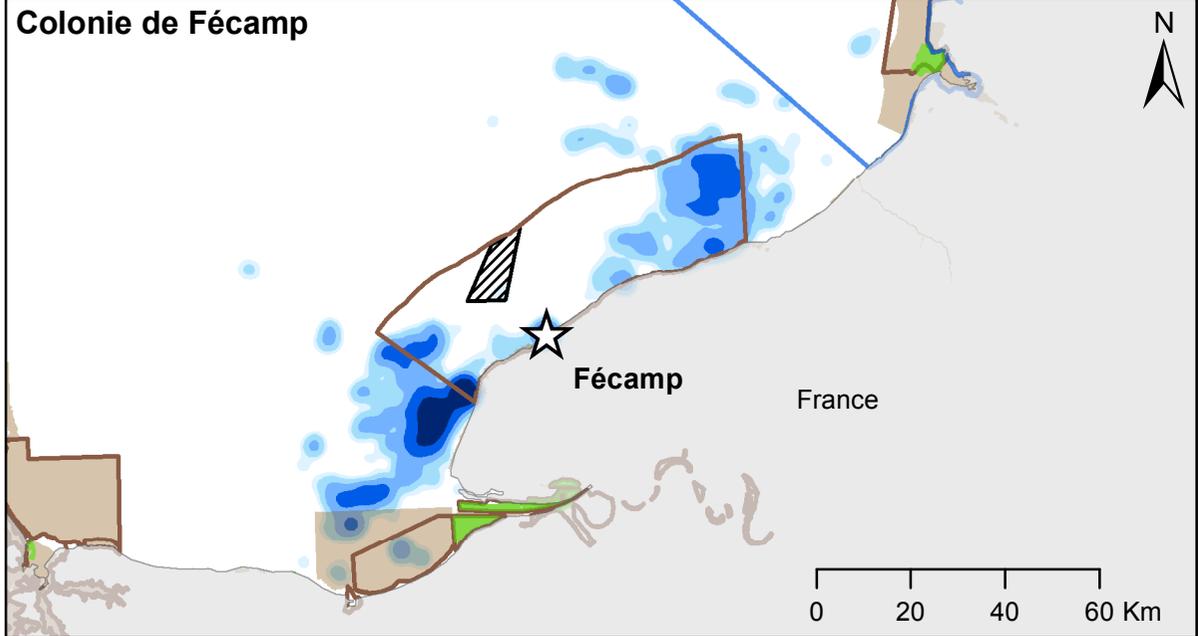
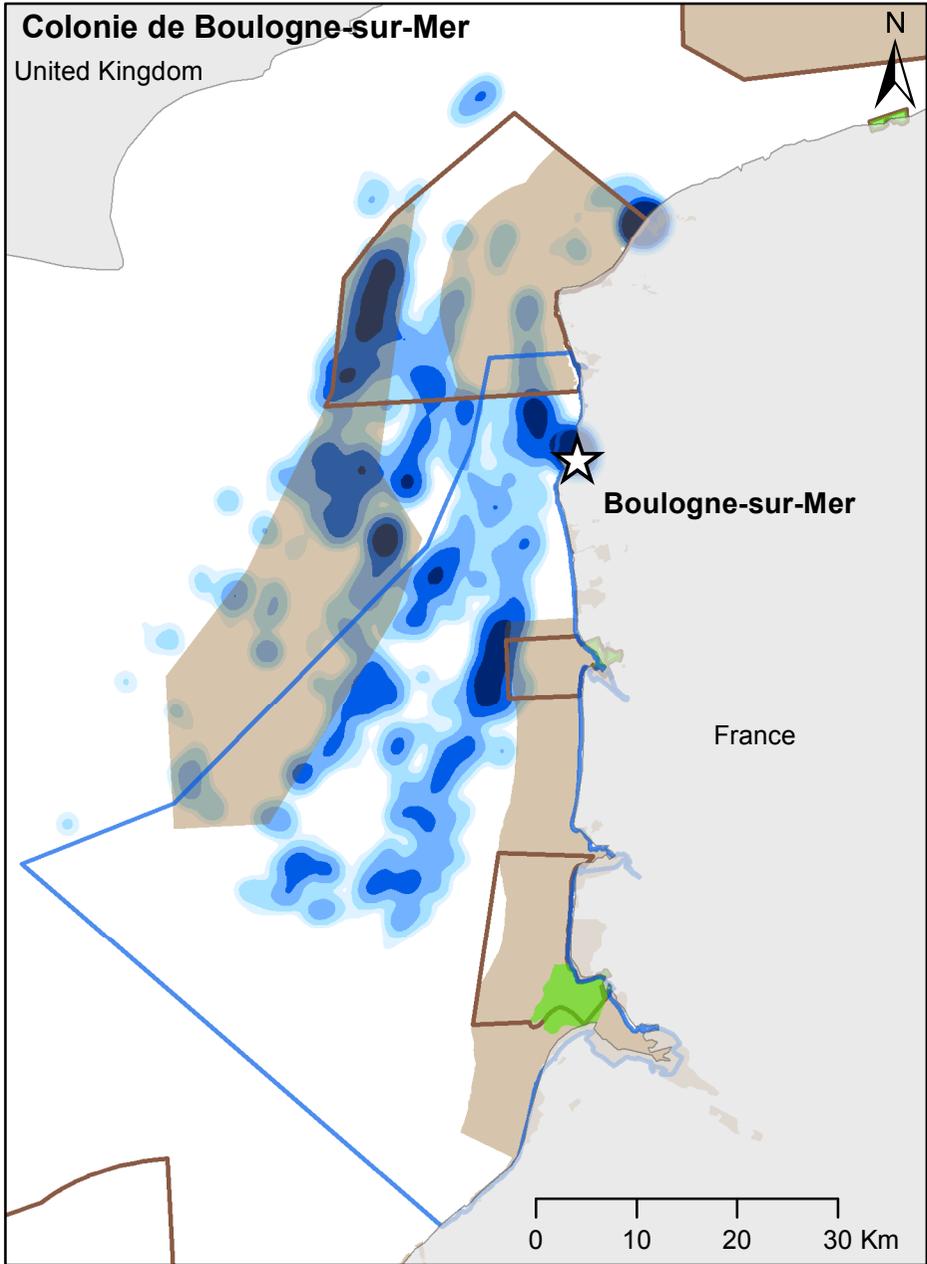
- Boulogne-sur-Mer (12 individus)
- ▲ Fecamp (15 individus)
- Saint-Pierre-du-Mont (13 individus)

Distribution des densités de localisations GPS associées à une phase de repos

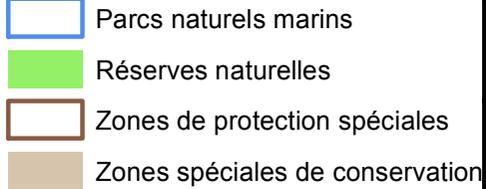
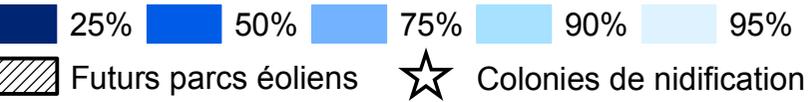
- 25%
- 50%
- 75%
- 90%
- 95%
- ☆ Colonies de nidification
- ▨ Futurs parcs éoliens

- Parcs naturels marins
- Réserves naturelles
- ▭ Zones de protection spéciales
- Zones spéciales de conservation

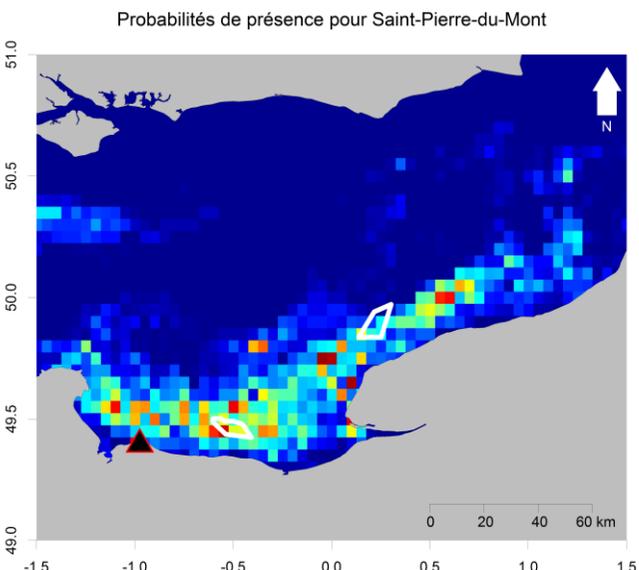
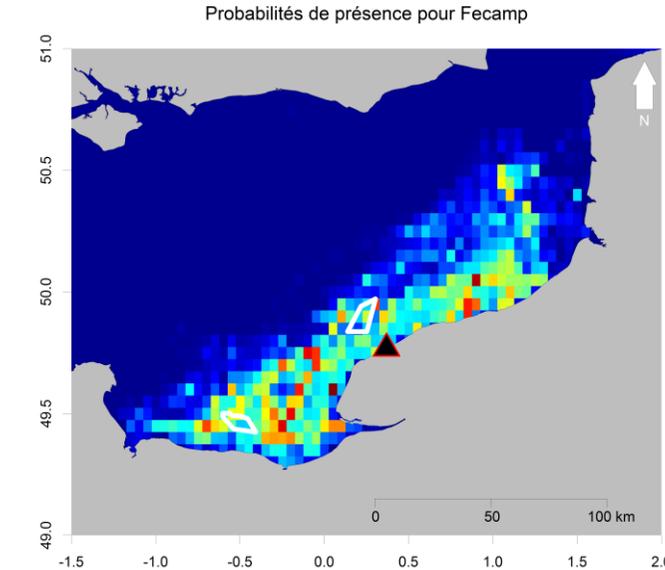
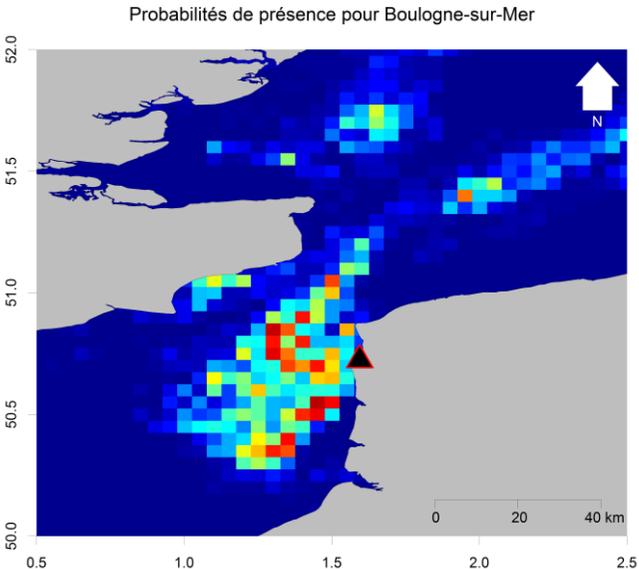
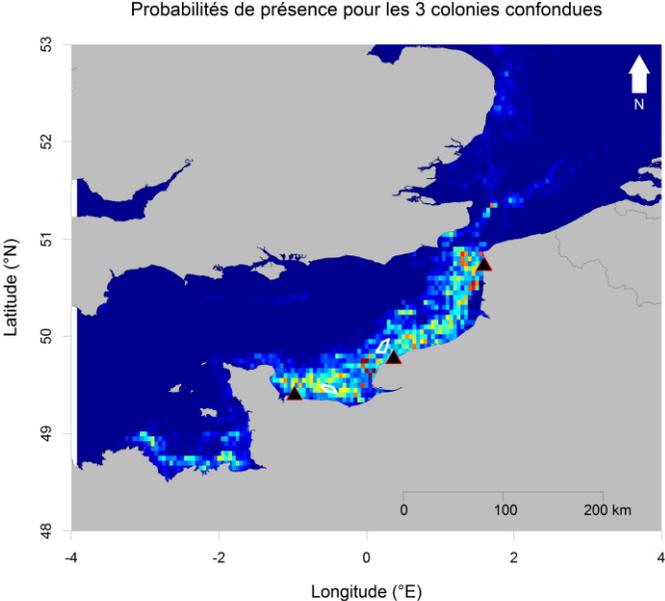
Zones de repos des mouettes tridactyles nichant sur les côtes de la Manche, par colonie



Distribution des densités de localisations GPS associées à une phase de repos



Résultats des modèles d'habitats



Parc éolien en mer du Calvados

Parc éolien en mer de Fécamp

Agence des aires marines protégées

Interreg

PANACHE Protected Areas Network Across the Channel Ecosystem

GON

Centre d'écologie fonctionnelle & évolutive

cnrs