



Innover

Etudier

Partager

3 rue Cope Cambe

34230 PLAISSAN

RCS Montpellier 809 520 588

+ 33 (0)467 885 822

SAS au capital variable de 6000€

N° SIRET 809 520 588 000 25

Ailes Marines®

LE PARC ÉOLIEN AU LARGE
DE LA BAIE DE SAINT-BRIEUC

Suivi de l'avifaune migratrice 2020 Projet éolien au large de la baie de Saint-Brieuc (22)

Suivis terrain et radar au Cap Fréhel

Avril 2021



Pauline Rico

Directrice d'études
+ 33 (0)6 74 01 7544

Hubert Lagrange

Directeur R&D
+ 33(0)7 82 56 67 65

Table des matières

I.	Contexte	4
I.1.	Projet éolien de la baie de Saint-Brieuc	4
I.2.	Avifaune et éoliennes	4
I.3.	Objectif du suivi	4
II.	Matériels et méthodes	5
II.1.	Suivis par ornithologue	5
II.2.	Suivis par radar	6
II.2.1.	Matériel utilisé	6
II.2.2.	Localisation	9
II.2.3.	Installation/Désinstallation sur la Tour Vauban	9
II.2.4.	Traitement des données	13
II.2.5.	Etalonnage du système	14
III.	Résultats des observations de terrain	20
III.1.	Conditions de suivi	20
III.1.1.	Observations ornithologiques	20
III.1.2.	Disponibilité des données radar	21
III.1.3.	Synthèse de la disponibilité des données des radars	23
III.2.	Données brutes de terrain	23
III.3.	Analyse de nombre de contacts en fonction de la date	25
III.4.	Analyse des données en fonction de l'altitude de vol	29
III.5.	Localisation des flux migratoires	30
III.6.	Résultats du suivi par radar	32
III.6.1.	Radar horizontal	32
III.6.2.	Radar vertical, altitudes de vol	37
IV.	Migration avifaunistique dans la baie de Saint-Brieuc et ses alentours	39
V.	Bilan terrain des migrations pré-nuptiale et post-nuptiale 2020	43
VI.	Bibliographie	45

Table des Illustrations

<i>Figure 1 : Représentation schématique des volumes de détection de deux radars (le radar horizontal a une portée de 6 km, non représentée ici).....</i>	<i>7</i>
<i>Figure 2 : Dimensions du radar en bande S</i>	<i>10</i>
<i>Figure 3 : Structure métallique permettant de fixer le radar en bande S</i>	<i>10</i>
<i>Figure 4 : Installation du radar en bande S sur la tour Vauban</i>	<i>11</i>
<i>Figure 5 : Installation du radar en bande-X sur la tour Vauban.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 6 : Vue globale de l'installation des radars sur le site du cap Fréhel</i>	<i>12</i>
<i>Figure 7 : Installation du PC radar dans la tour Vauban</i>	<i>13</i>
<i>Figure 8 : Représentation en niveau de gris du modèle numérique de terrain utilisé pour la définition des volumes de détection sur le projet du Cap Fréhel</i>	<i>14</i>
<i>Figure 9 : Représentation schématique de la décomposition d'un jeu de données par un K-d tree</i>	<i>15</i>
<i>Figure 10 : Traces utilisées pour tester le module de trajectographie utilisé dans ce projet</i>	<i>16</i>
<i>Figure 11 : Résultat de la trajectographie obtenue à partir du jeu de donnée présenté figure 10.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 12 : Visualisation des erreurs de trajectographies par comparaison entre la surface des traces et la surface des trajectoires extraites</i>	<i>18</i>
<i>Figure 13 : Evolution de la hauteur du faisceau en fonction de la distance.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 14 : Evolution de la détectabilité des cibles en fonction de la distance</i>	<i>19</i>
<i>Figure 15 : Détectabilité des cibles corrigée en fonction de la distance et de la hauteur utile du faisceau.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 16 : Flux horaires pendant la migration pré-nuptiale au Cap Fréhel.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 17 : Flux horaires pendant la migration post-nuptiale au Cap Fréhel.....</i>	<i>26</i>
<i>Figure 18 : Avifaune en migration pré-nuptiale par date et par espèce au Cap Fréhel</i>	<i>27</i>
<i>Figure 19 : Avifaune en migration post-nuptiale par date et par espèce au Cap Fréhel.....</i>	<i>28</i>
<i>Figure 20 : Hauteurs de vol pendant la migration pré-nuptiale au Cap Fréhel - H0 = repos, H1 = en-dessous des pales (0-130m), H2 = à hauteur de pales (130-210m), H3 = au-dessus des pales (210-250m) et H4 = bien au-dessus des pales (>250m)</i>	<i>29</i>
<i>Figure 21 : Hauteurs de vol pendant la migration post-nuptiale au Cap Fréhel - H0 = repos, H1 = en-dessous des pales (0-130m), H2 = à hauteur de pales (130-210m), H3 = au-dessus des pales (210-250m) et H4 = bien au-dessus des pales (>250m)</i>	<i>30</i>
<i>Figure 22 : Extrait de l'analyse des altitudes de vol par radar (09/04/2020 à 2h10).....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 23 : Représentation des altitudes de vol en fonction du temps pour la session pré-nuptiale</i>	<i>38</i>
<i>Figure 24 : Représentation des altitudes de vol en fonction du temps pour la session post-nuptiale</i>	<i>39</i>
<i>Figure 25 : Compilation des trajectoires détectées au cours de la migration pré-nuptiale (a) et post-nuptiale (b) et des trajectoires observées sur le terrain, données non corrigées par la détectabilité des cibles en fonction de la distance.....</i>	<i>44</i>

<i>Carte 1 : Flux migratoires de l'avifaune recensés du 08/04/20 au 14/04/20</i>	<i>31</i>
<i>Carte 2 : Flux migratoire de l'avifaune recensés du 19/10/20 au 23/10/20</i>	<i>32</i>
<i>Carte 3 : Extrait des détections radar pour le 08/04 en début de nuit (21h10)</i>	<i>33</i>
<i>Carte 4 : Compilation des trajectoires détectées au cours de la migration prénuptiale, données non corrigées par la détectabilité des cibles en fonction de la distance.....</i>	<i>35</i>
<i>Carte 5 : Compilation des trajectoires détectées au cours de la migration postnuptiale, données non corrigées par la détectabilité des cibles en fonction de la distance.....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau 1 : Dates et conditions météorologiques du suivi sur le terrain au printemps 2020</i>	<i>20</i>
<i>Tableau 2 : Dates et conditions météorologiques du suivi sur le terrain (automne 2020)</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 3 : Disponibilité des données sur le radar horizontal au cours de la session prénuptiale 2020</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 4 : Disponibilité des données sur le radar vertical au cours de la session prénuptiale 2020.....</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 5 : Disponibilité des données sur le radar horizontal au cours de la session postnuptiale 2020.....</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 6 : Disponibilité des données sur le radar vertical au cours de la session postnuptiale 2020</i>	<i>22</i>
<i>Tableau 7 : Synthèse des effectifs migrants en 2020 sur le Cap Fréhel</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 8 : Tableau de synthèse des différentes espèces d'oiseaux d'eau relevées dans au moins 3 documents de référence différents consultés.....</i>	<i>40</i>
<i>Tableau 9 : Tableau de synthèse des différentes espèces de rapaces relevées dans au moins 3 documents de référence différents consultés.....</i>	<i>41</i>
<i>Tableau 10 : Tableau de synthèse des différentes espèces de passereaux relevées dans au moins 3 documents de référence différents consultés.....</i>	<i>41</i>
<i>Tableau 11 : Tableau de synthèse des différentes espèces de corvidés et colombidés relevées dans au moins 3 documents de référence différents consultés.</i>	<i>42</i>
<i>Tableau 12 : Tableau de synthèse des différentes espèces (hors oiseaux d'eau, rapaces, passereaux et corvidés/colombidés) relevées dans au moins 3 documents de référence différents consultés.</i>	<i>42</i>

I. Contexte

I.1. Projet éolien de la baie de Saint-Brieuc

Le projet éolien en mer au large de la Baie de Saint-Brieuc est porté par Ailes Marines, société détenue à 100% par l'énergéticien IBERDROLA. Le parc de Saint-Brieuc sera constitué de 62 éoliennes Siemens Gamesa Renewable Energy de 8 Mégawatts, pour une puissance totale de 496 Mégawatts. Les turbines seront réparties sur une surface de 75 km², l'éolienne la plus proche étant située à 16,3 km des côtes bretonnes.

Les 62 éoliennes seront disposées en 7 lignes de 3 à 14 éoliennes, espacées de 1 300 mètres environ. À l'intérieur de chaque ligne, l'espacement inter-éoliennes est d'environ 1 000 mètres.

Le parc éolien en mer de la Baie de Saint-Brieuc a obtenu le 18 avril 2017, de la Préfecture des Côtes-d'Armor, les autorisations administratives nécessaires à la construction et l'exploitation du parc éolien dont celles au titre des dispositions des articles L.214-1 et suivants du Code de l'Environnement ; dite « Autorisation Unique IOTA ». Dans le cadre de ces autorisations administratives, sont notamment prescrits des suivis des oiseaux (avifaune) par radar.

I.2. Avifaune et éoliennes

L'état initial ornithologique sur la baie de Saint-Brieuc a été effectué durant 2 années grâce à plus de 24 sorties en avion et 46 en bateau. Cette étude a démontré une sensibilité avifaunistique forte sur le site d'étude lors des migrations postnuptiales. Afin de suivre les mouvements des oiseaux migrants en phase de pré-construction pour construire un état de référence, puis durant la phase construction, et les 3 premières années d'exploitation, Ailes Marines souhaite mettre en place un suivi d'activité de l'avifaune par radar. La mise en place d'un tel suivi durant 2 semaines par an décrira l'activité de l'avifaune migratrice sur la région côtière proche du projet, permettant de consolider les données naturalistes préalablement collectées et de suivre l'évolution des trajectoires des oiseaux.

I.3. Objectif du suivi

L'objectif de cette étude est de définir :

- Les flux migratoires,
- La phénologie de la migration,
- Les trajectoires de vol,
- Les altitudes de vol des différentes espèces sur la côte proche du projet de parc durant 4 années, de 2020 à 2023. Sens of Life a été missionné par Ailes Marines pour mettre en place 2 sessions d'une semaine de suivi par an, l'une entre février et mai, puis la seconde entre juillet et octobre.

Cette proposition s'articule autour de 3 prestations :

- Un suivi par 2 radars 2D,
- Un suivi complémentaire par un ornithologue pour l'identification des espèces,
- Le traitement des données et la rédaction d'un rapport de tests.

Ce rapport présente les résultats des deux campagnes de suivi effectuées par Sens Of Life du 08 au 14 Avril 2020 puis du 18 au 24 octobre 2020.

II. Matériels et méthodes

II.1. Suivis par ornithologue

Les relevés de terrain ont été effectués du lever du jour jusqu'en milieu de journée, correspondant à la période de migration active diurne la plus importante, lorsque les conditions météorologiques le permettaient, et ce, du 08 au 14 avril 2020 pour la migration pré-nuptiale et du 18 au 24 octobre 2020 pour la migration post-nuptiale. Lorsque les conditions météorologiques étaient dégradées (précipitations importantes) en début de journée, le suivi était décalé en milieu ou fin de journée.

L'ornithologue, expérimenté dans la reconnaissance d'oiseaux côtiers et marins, équipé de jumelles Kite Petrel 10X42 et d'une longue-vue Kite X60, était posté sur la pointe du Cap Fréhel. Les espèces contactées, leur altitude de vol et leur direction ont été relevées. L'altitude de vol est estimée d'après des repères pris dans le paysage alentours, et respecte le code suivant :

- H0 = oiseau posé,
- H1 = oiseau volant sous le bas de pale (0-30 m),
- H2 = oiseau volant à hauteur de pale (30-210 m),
- H3 = oiseau volant juste au-dessus des pales (210-250 m),
- H4 = oiseau volant bien au-dessus des pales (>250 m).

Les conditions météorologiques sont relevées, dont la température à l'arrivée sur le site, et la vitesse de vent avec le code suivant :

- V0 = vent nul,
- V1 = vent faible (5 à 15 km/h),
- V2 = vent moyen (15 à 35 km/h),
- V3 = vent fort (35 à 50 km/h),
- V4 = vent très fort (vent supérieur à 50 km/h).

L'estimation de ces altitudes permet d'envisager la proportion de l'avifaune qui sera présente dans l'aire brassée par les pales des futures éoliennes. Les trajectoires sont immédiatement retranscrites sur un calque, puis cartographiées sous SIG la semaine suivant le terrain.

Les migrations prénuptiale et postnuptiale sont suivies depuis les zones offrant le plus de visibilité sur l'aire d'étude, tout en gardant le radar à portée de vue. Deux points d'observations ont été définis : à la pointe, à côté de la corne de brume, et à mi-distance entre la pointe du Cap Fréhel et le radar. Une ronde était également effectuée en début et fin de suivi afin de bien caractériser l'existence ou l'absence d'autres voies de passages d'oiseaux sur le site.

Pour chaque journée de suivi, les synthèses de terrain récapitulent les informations suivantes :

- Date, heure, conditions climatiques,
- Espèce contactée (observée, entendue),
- Caractéristiques physiques et sexe de l'individu,
- Point GPS de la localisation si possible.

Limites : L'efficacité de l'observateur n'est pas constante dans le temps, avec la fatigue. La pluie limite également les observations. Les distances de détection de l'observateur sont limitées à moins d'un kilomètre, les croisements des données avec le radar sont donc restreints à cette distance.

II.2. Suivis par radar

L'utilisation de radars pour les études ornithologiques est une pratique fréquente (Russel and Gauthreaux, 1998 ; Bruderer, 1997 ; Bruderer et Liechti, 1998 ; Black, 2000 ; Harmata et al., 2000 ; Christensen et al., 2004).

Les radars présentent de nombreux avantages :

- Ils sont capables de détecter les oiseaux sur de grandes distances (1 km pour un passereau isolé ou une chauve-souris, 3 km pour un Goéland, 5 km pour un Aigle royal),
- Leurs performances sont peu altérées par les nuages ou le brouillard,
- Ils surveillent une zone de 360° x 20°.

Cependant, ils n'identifient pas les cibles, seul un classement par groupe de taille et vitesse de déplacement est possible (« passereaux », « colombiformes », « laridés »). Chacun des groupes incluent plusieurs espèces très différentes (par exemple la corneille est détectée comme un « petit rapace »). Il ne sera pas toujours possible ici de faire la différence entre les différentes espèces de Laridés et de Procellariiformes.

C'est pourquoi le couplage du radar avec un ornithologue permet de combler cette lacune du radar.

Pour répondre pleinement aux problématiques du suivi des flux migratoires, une plateforme REALA-x développé par Sens Of Life a été mobilisée. Cette plateforme radar est dédiée à l'étude des animaux à locomotion aérienne. Ici, deux types de radars ont été utilisés : le radar en bande X et le radar en bande S.

II.2.1. Matériel utilisé

La combinaison des radars fonctionnant verticalement (type Furino 2117, avec une puissance de 12 kW) et d'un radar fonctionnant horizontalement (type Far 3000, puissance de 25 kW) facilite l'évaluation des trajectoires. La détection et la synchronisation des trajectoires ainsi que le calcul de la vitesse de vol sont effectués automatiquement. La combinaison avec un radar en bande X en mode vertical et un radar en bande S en mode horizontal a été choisie.

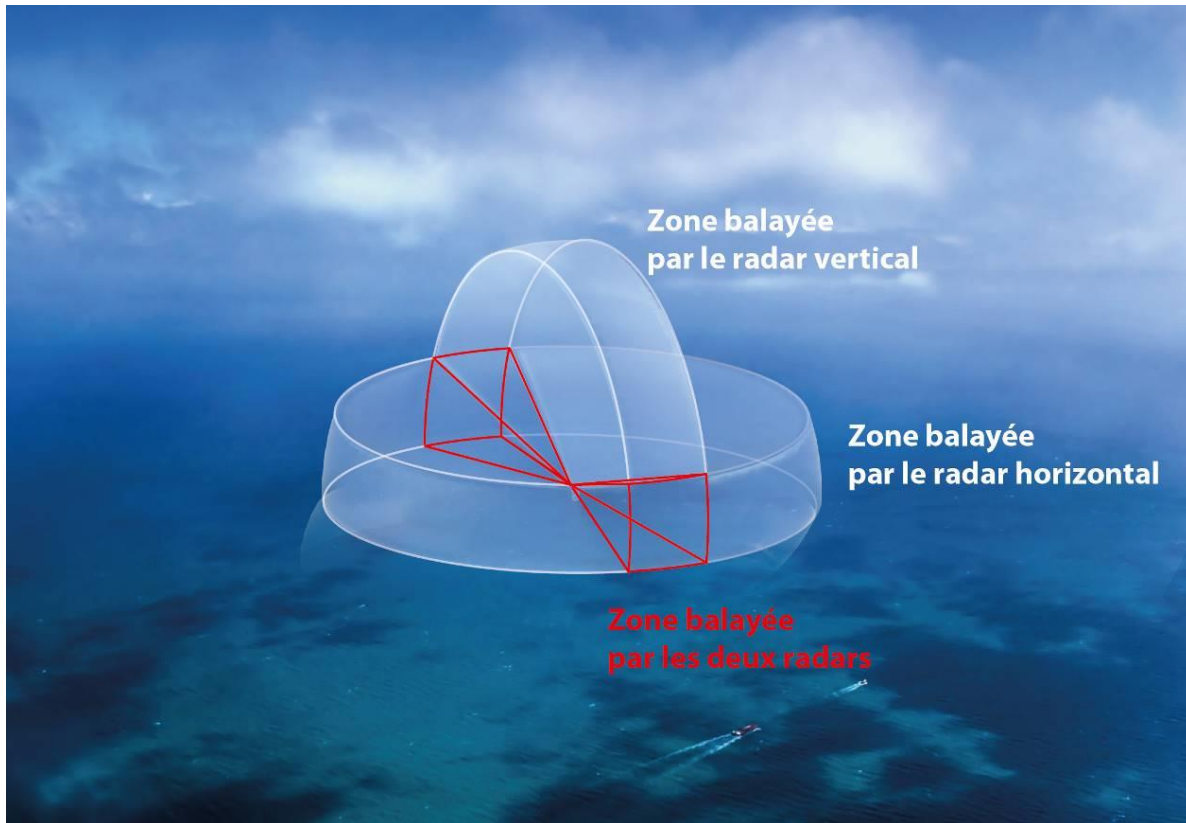


Figure 1 : Représentation schématisée des volumes de détection de deux radars (le radar horizontal a une portée de 6 km, non représentée ici).

Description des radars

Radar en Bande X

Le radar en bande X utilise une antenne modifiée spécifiquement pour surveiller un faisceau vertical de 22° au-dessus de l'horizon. Ce radar utilise une fréquence de 9,4 GHz +/- 100 MHz, tout en consommant moins de 250 W / h d'électricité. Son poids est raisonnable et il occupe peu d'espace (2,2 m de diamètre, 1 m de hauteur, 40 kg). Sa fréquence d'émission élevée (9.4 GHz, soit une longueur d'onde de 3 cm) lui permet de détecter une large gamme d'animaux allant du papillon au grand rapace.

La plage de détection des cibles varie donc entre 10 cm² et 500 m². Lorsque les conditions météorologiques sont favorables, le radar peut détecter un oiseau de 150 cm d'envergure à une distance maximale de 6 km et peut voir des moineaux et des chauves-souris (jusque 2 km dans de bonnes conditions). La détection n'est pas sensible au brouillard.

Caractéristiques générales :

- Puissance 25 kW,
- Fréquence 9.4 GHz,
- Consommation électrique < 250W.h,
- Type d'alimentation électrique : 24 VDC

Distances de détection :

- 6 km, grand oiseaux (aigle royal, vautour fauve...),
- 5 km, oiseau de taille moyenne (pigeon, corneille...),
- 2 km, passereaux et chauve-souris,
- 0.8 km, insectes.

Radar en Bande S

Le radar en bande S détecte une mouette à 7 kilomètres, tandis qu'un radar en bande X la détecte à 5 kilomètres. Le radar en bande S a une distance de détection près de deux fois plus étendue que le radar en bande X.

Caractéristiques générales :

- Puissance 30 kW,
- Fréquence 2.3 GHz,
- Consommation électrique < 500 W.h,
- Type d'alimentation électrique : 220 VAC

Distances de détection :

- 12 km, grand oiseaux (aigle royal, vautour fauve...),
- 7 km, oiseau de taille moyenne (pigeon, corneille...),
- 2 km, passereaux et chauve-souris,

Limites

Générales

Seule une zone délimitée est surveillée par le radar, le suivi est exhaustif dans cette zone, mais ne représente pas forcément le flux migratoire alentours. Les distances de détection ne sont pas les mêmes pour les passereaux que pour les grands rapaces, une évaluation de ces distances est effectuée.

Radar en Bande X

Les oiseaux survolant le faisceau de 22° ne sont pas détectés.

Les performances de détection sont réduites par le bruit de mer et la pluie. La détection est fortement réduite par les vagues de plus de 2 m, en particulier par vent fort. Il reste aussi sensible aux échos de sol et aux échos de mer.

Radar en Bande S

Avec un poids de 60 kg et une dimension de 3,80 m de diamètre, la logistique d'installation de ce type de radar est compliquée. Alimenté en 25 kW, sa consommation électrique demande également à être anticipée.

II.2.2. Localisation

La localisation du radar est définie en fonction des différentes contraintes des sites : alimentation électrique disponible, sécurité des personnes, sécurité du matériel, absence d'échos de sol, visibilité de la zone d'étude...

Le Cap Fréhel a été choisi comme site d'étude, et en particulier l'ancien phare du Cap Fréhel (Tour Vauban) pour l'installation des radars, pour les raisons suivantes :

- 1) L'intérêt ornithologique du site,
- 2) Le fait que ce soit le point de la côte situé au plus proche du parc éolien,
- 3) Pour des raisons de sécurité : fixés en hauteur, les émissions des radars n'impactent pas le public sur le site,
- 4) Le vandalisme est également limité grâce à la fermeture à clé de la porte au pied du phare,
- 5) Aucune alimentation électrique n'est disponible, mais le groupe électrogène est à l'abri dans l'enceinte du phare,
- 6) Les radars étant éloignés du sol, les échos du sol restent faibles.

Toutes ces raisons ont conduit au choix du Cap Fréhel et plus particulièrement de la Tour Vauban comme site d'étude.

Une zone d'un rayon de 50 m a été balisé autour de la Tour Vauban afin d'éviter l'intrusion de personnes étrangères à l'étude à proximité du radar, en particulier durant l'installation et la désinstallation.

Au préalable, une demande de travaux sur monument historique classé a été préparée par Ailes Marines et envoyée à la DRAC. Cette demande fut validée par l'architecte des bâtiments de France. Ensuite, une demande d'autorisation d'émettre a été soumise à l'ARCEP (Autorité de régulation des communications électroniques et des Postes) courant mars 2020.

II.2.3. Installation/Désinstallation sur la Tour Vauban

Ainsi, un radar en bande X a été installé verticalement sur le passage bordant le sommet de la tour Vauban, côté ouest, et le radar en bande S a été fixé à son sommet. Les antennes des radars, en particulier celles du bande S, étant imposantes (3,80 m), et lourdes (80 kg), l'utilisation d'un camion nacelle a permis de monter les différents éléments.

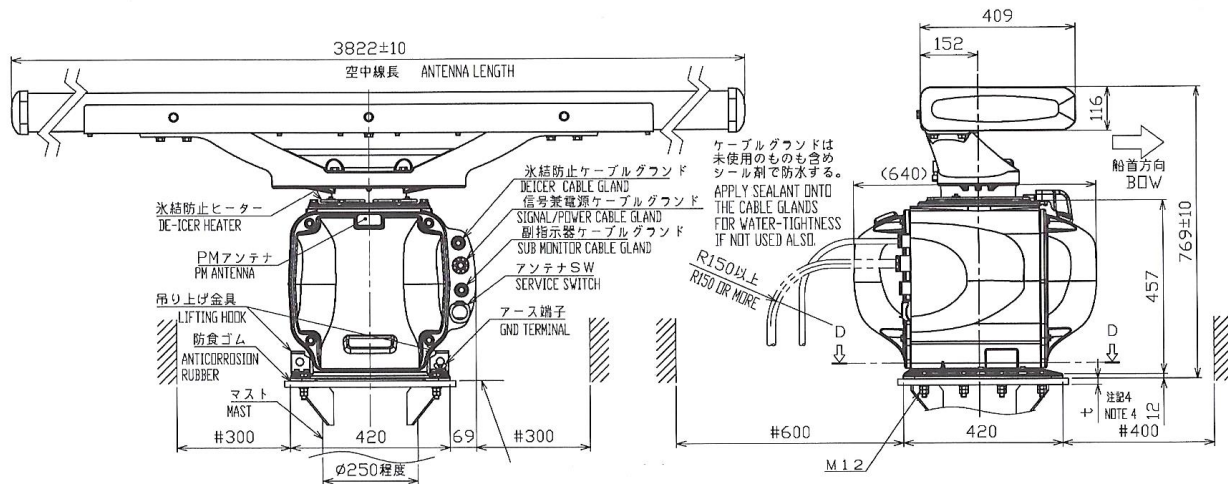


Figure 2 : Dimensions du radar en bande S

Une structure métallique a permis la fixation du radar en bande S au sommet de la Tour Vauban sans toucher à la structure originelle du phare.

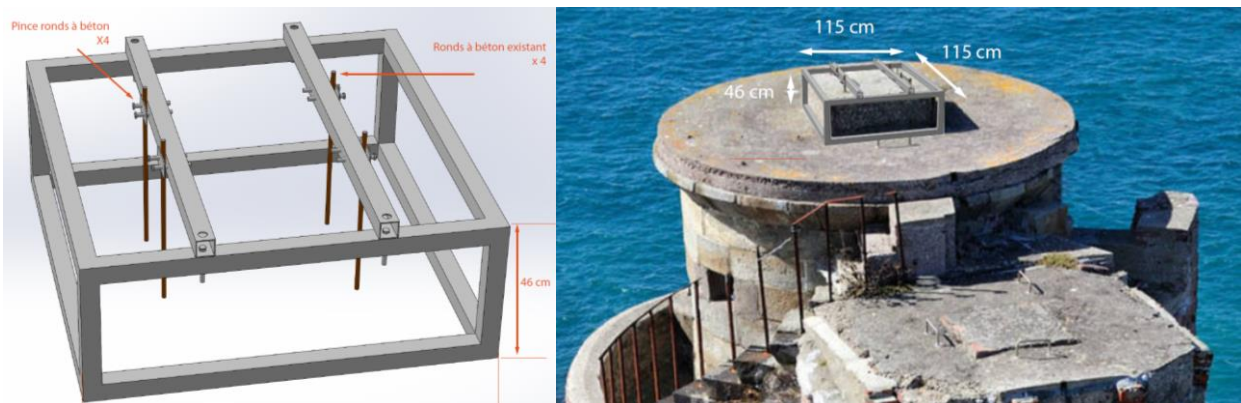


Figure 3 : Structure métallique permettant de fixer le radar en bande S



Figure 4 : Installation du radar en bande S sur la tour Vauban

Le radar en bande X est plus léger et moins encombrant. Un support en bois, maintenu par des sangles, a permis de fixer le radar verticalement le long de la paroi de la Tour en son sommet, ici aussi, sans toucher à la structure originelle du phare.



Figure 5 : Installation du radar en bande-X sur la tour Vauban



Figure 6 : Vue globale de l'installation des radars sur le site du cap Fréhel

La 1^{ère} session a eu lieu du 08 au 14 avril 2020 et s'est déroulée sans encombre, en période de confinement et avec des conditions météorologiques clémentes.

La session d'octobre a eu lieu dans des conditions météo plus venteuses et pluvieuses : Le radar en Bande S a été désinstallé le vendredi 23 octobre 2020 après-midi car les vitesses de vent prévues le samedi et le dimanche ne permettaient pas son fonctionnement en toute sécurité. Le vent atteignant des pointes à 80 km/h le samedi, il a également été décidé de désinstaller le radar en bande X pour éviter toute dégradation de matériel. Il a donc été désinstallé samedi matin 24 octobre 2020.

II.2.4. Traitement des données

Les radars se connectent à un PC de pilotage par Ethernet, avec un boîtier d'interface. Le radar dispose d'un câble ombilical de 20 mètres relié à l'unité d'alimentation et au PC. Le système est équipé d'un processus de rejet d'interférences : un secteur aveugle est défini afin d'éviter les interférences produites par les réflexions de pièces métalliques éclairées. Les données du radar (2,5 images / seconde) sont enregistrées sur un disque dur. Les images sont stockées dans des fichiers .png horodatés.

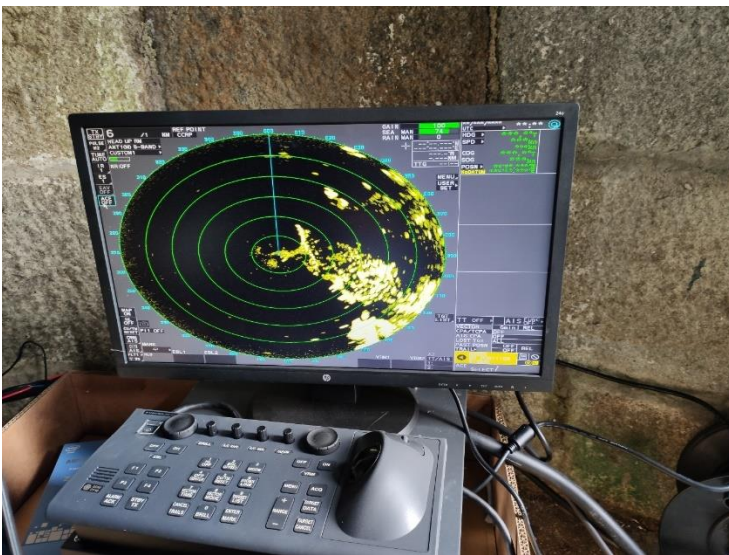


Figure 7 : Installation du PC radar dans la tour Vauban

Outre la partie matérielle, la plateforme REALA-x intègre une suite logicielle assurant la détection et la détermination des trajectoires des animaux détectés.

Le traitement du signal avancé permet que les oiseaux puissent être vus très clairement, même lors de conditions météorologiques défavorables. Les faux échos représentent moins de 1% après l'analyse de la trajectographie. L'écran radar fournit des informations sur la position et la taille de la cible. Leur analyse permet d'extraire les trajectoires des animaux volants et de les intégrer dans un SIG. Le radar n'est néanmoins pas capable d'identifier les cibles détectées à l'espèce : un tri des échos en fonction de la taille, de la distance et de la vitesse de déplacement est effectué mais il reste des confusions entre certains animaux.

Les hauteurs de vol sont définies par le radar vertical. La combinaison des informations du radar fonctionnant en mode vertical et de celui fonctionnant en mode horizontal permet d'évaluer la trajectoire des animaux ainsi que les altitudes de vol. La détection des trajectoires, leur horodatage et le calcul des vitesses de vol est automatique.

L'information principale collectée par ce système est la taille de l'oiseau grâce au croisement des données entre la position fournie par le radar et la taille relative, en pixels fournie par les caméras.

Les groupes d'espèces définies d'après le radar sont les suivants :

- Oiseaux de la taille de grands Laridés,
- Oiseaux de la taille de Colombidés,
- Oiseaux de la taille de Passereaux.

(« passereaux », « colombiformes », « petits rapaces », « grands rapaces »).

II.2.5. Etalonnage du système

Volumes de détection

Les volumes de détection du radar en fonction de la topographie ont été déterminées pour pouvoir réaliser une analyse spatiale des données pertinente prenant en compte les variations de volume de détection induites par la topographie du site (Figure 8). L'analyse est basée sur le MNT SRTM de la Nasa disponible avec une résolution de 30 m.

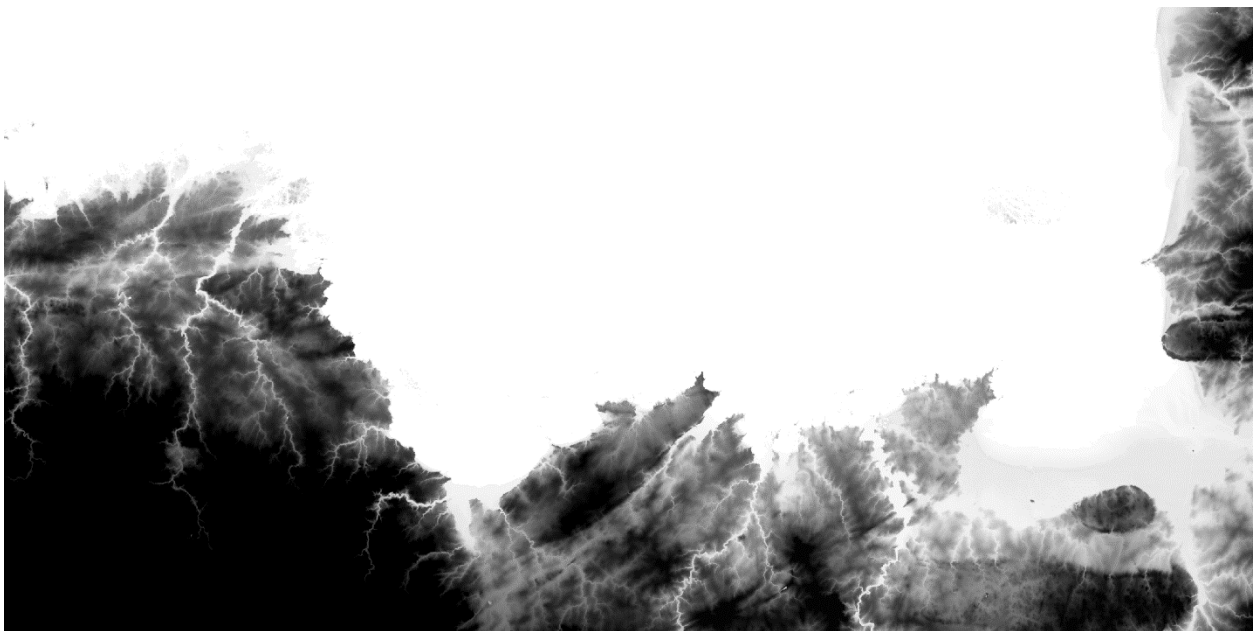


Figure 8 : Représentation en niveau de gris du modèle numérique de terrain utilisé pour la définition des volumes de détection sur le projet du Cap Fréhel

Module de trajectographie

La trajectographie est réalisée grâce à une application python développée par Sens Of Life sur la base des K-d tree. L'algorithme utilisé est décrit dans Maneewongvatana et Mount, 1999. L'idée générale est que le K-d-tree est un arbre binaire, dont chacun des nœuds représente un hyperrectangle aligné sur un axe.

Chaque nœud spécifie un axe et divise l'ensemble des points selon que leurs coordonnées le long de cet axe est supérieure ou inférieure à une valeur particulière (Figure 9).

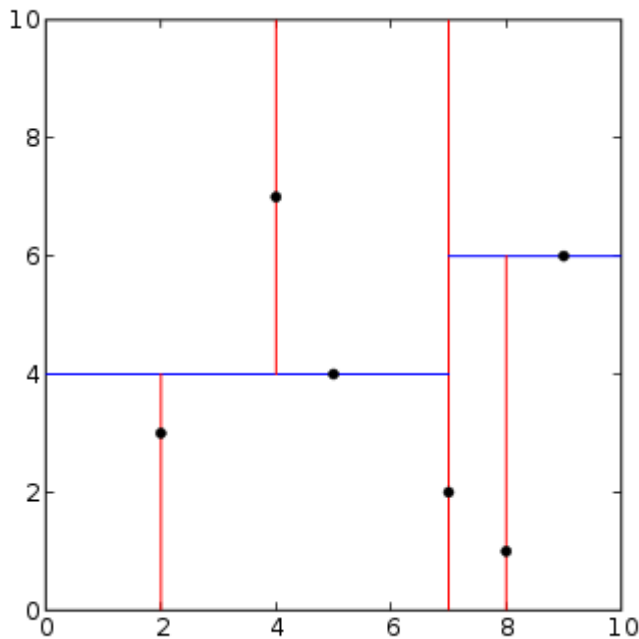


Figure 9 : Représentation schématique de la décomposition d'un jeu de données par un K-d tree

A un instant T les données fournies par le radar sont une série de points dans un plan représentant une projection de la position des cibles détectées. Il est nécessaire de définir la trajectoire de ces cibles avec un minimum d'erreur pour décrire le comportement des cibles suivies.

L'étude des oiseaux nécessite une trajectographie particulièrement aboutie car ces animaux peuvent aussi bien se déplacer en ligne droite qu'en suivant des courbes complexes, notamment des boucles observées lorsque les animaux cerclent dans des ascendances thermiques.

Pour garantir la fiabilité du système et si besoin identifier les possibles causes de baisse de performance, un test de trajectographie est réalisé sur un jeu de données composés de points soumis à une série de loi mimant les variations observées sur les échos enregistrés lors de l'observation d'oiseaux. Ces échos présentent régulièrement :

- Des variations de taille plus ou moins aléatoires liés aux mouvements des ailes et à l'orientation de l'oiseau par rapport au radar,
- Des variations d'orientation de trajectoire au cours du temps en fonction du comportement de l'animal suivi,
- Des croisements de trajectoire ou des vols en groupe,
- Des occultations temporaires liées au relief, à la végétation, aux bruits détectés par le radar...

Les traces suivies par ces oiseaux virtuels sont présentées sur la Figure 10. Elles sont volontairement interrompues par des cercles concentriques créant des interruptions dans les trajectoires. Les tracés utilisés comportent des variations continues et aléatoires entre la ligne droite et la courbe longue en

passant par des boucles ou des trajectoires irrégulières ainsi que des croisements ou superpositions de trajectoires.

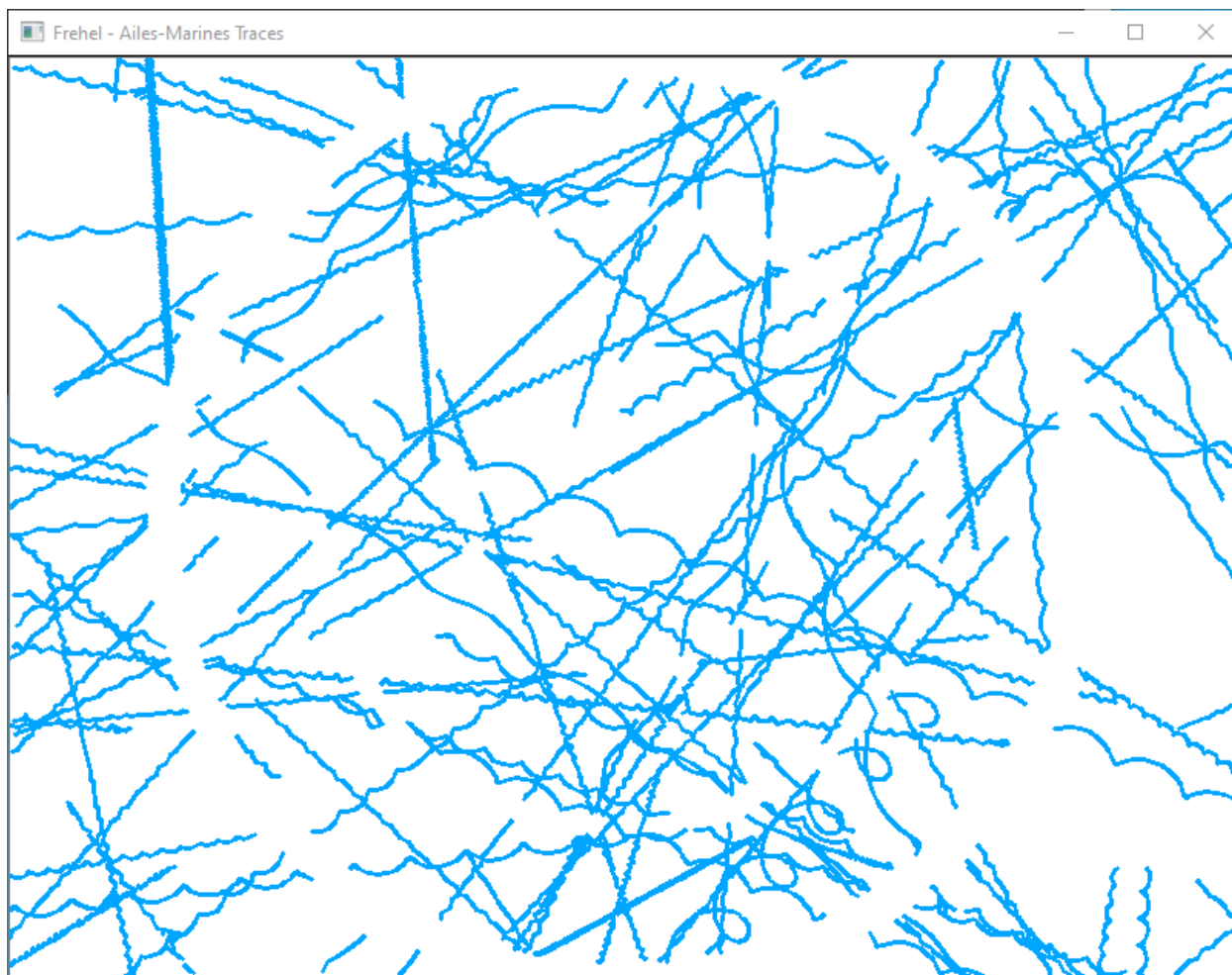


Figure 10 : Traces utilisées pour tester le module de trajectographie utilisé dans ce projet

Sur la visualisation des trajectoires extraites par le module, la couleur des trajectoires est définie aléatoirement. Il est possible de constater :

- Une bonne continuité de suivi, visualisable par un faible nombre de changement de couleurs sur une même trajectoire,
- Peu de défauts à part quelques trajectoires aberrantes (1, 2 et 3) représentées sur la Figure 11,
- Peu de variations liées à la rectitude ou à la courbe des trajectoires identifiées.



Figure 11 : Résultat de la trajectographie obtenue à partir du jeu de donnée présenté figure 10

Pour quantifier le taux d'erreur lié au suivi, une analyse de la superposition de la surface des traces et de la surface des trajectoires est réalisée et représenté sur la Figure 12. Les zones blanches correspondent aux zones où une trace a été laissée par un oiseau virtuel sans que celui-ci ne soit intégré à une trajectoire par le module de trajectographie. Cette représentation permet de constater que :

- Le module produit un taux d'erreur constant quel que soit l'orientation de la trajectoire,
- Le taux d'erreur est également constant en cas de chevauchement et de croisement de trajectoire,
- Ce taux ne varie pas en fonction de la linéarité ou de la courbe de la trajectoire,
- Cependant, de nombreuses erreurs ponctuelles apparaissent autour des cercles destinés à mimer des interruptions de traces. Elles sont courtes et correspondent à un temps de réacquisitions de la trajectoire après une occultation ponctuelle.

Une analyse quantitative de ces erreurs montre qu'elles représentent 5.54% de la surface totale des traces utilisées comme étalonnage du système.

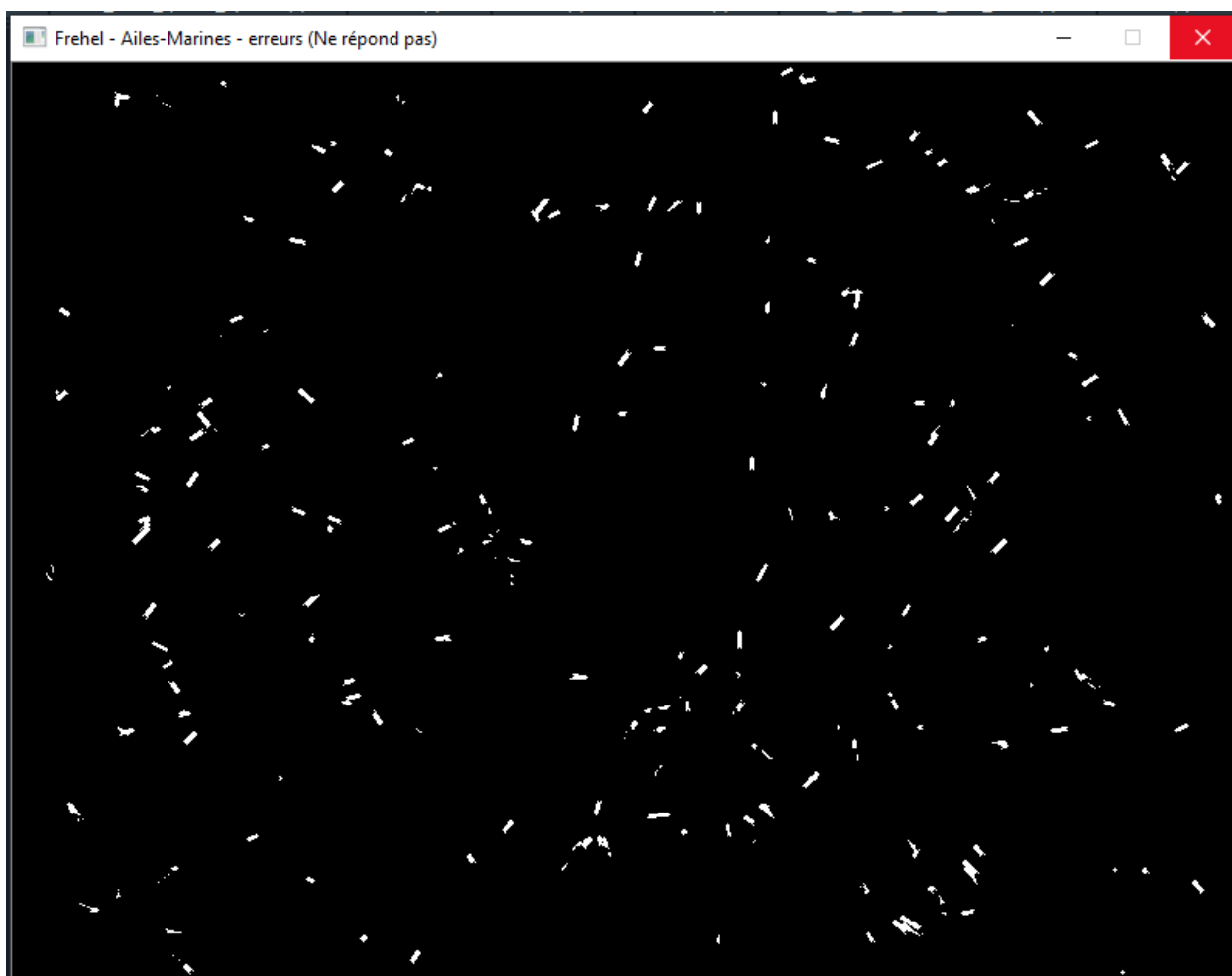


Figure 12 : Visualisation des erreurs de trajectographies par comparaison entre la surface des traces et la surface des trajectoires extraites

Détectabilité des cibles en fonction de la distance

Radar horizontal

L'utilisation d'un radar en bande S est assez exceptionnel pour ce type de mesure. Nous n'avons que peu de retour sur les variations de détectabilités de cibles en fonction de la distance. L'étalonnage du radar horizontal sera finalisé sur toutes les années de suivi pour permettre un traitement homogène de la totalité des données en fonction des variations de condition d'échantillonnage observées sur le site.

Radar vertical

Le radar horizontal en bande X est beaucoup plus fréquent, nous avons un bon retour d'expérience sur ce type de matériel. Les résultats de différentes sessions d'étalonnages sont présentés en couleurs différentes dans les figures 13 et 14 suivantes.

Evolution de la hauteur du faisceau en fonction de la distance

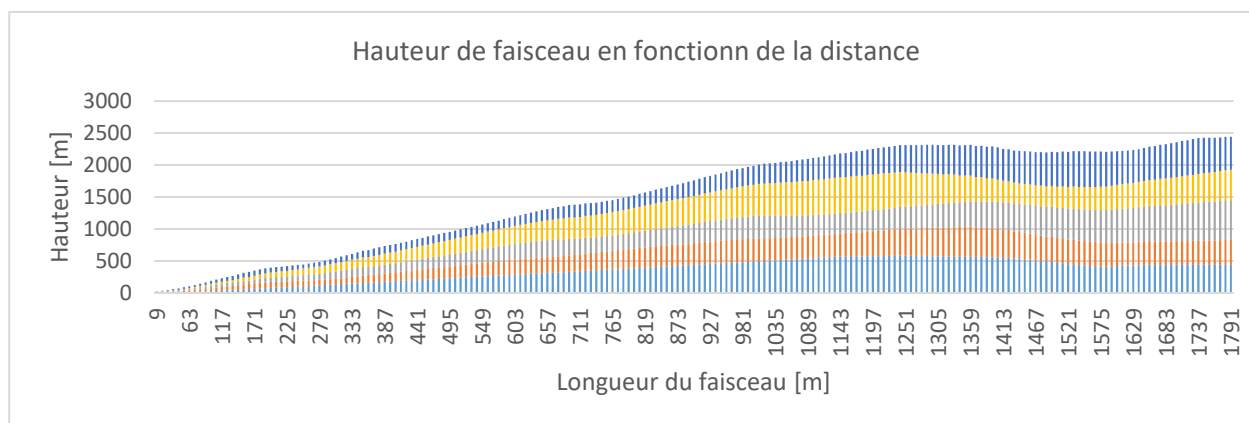


Figure 13 : Evolution de la hauteur du faisceau en fonction de la distance

Pour ce radar en bande X, la largeur du faisceau augmente de manière constante jusqu'à 1200 mètres. Au-delà cette largeur semble ne plus progresser ce qui correspond probablement au diagramme de diffusion de l'antenne et à la superposition des lobes d'émission.

Evolution de la détectabilité des cibles en fonction de la distance

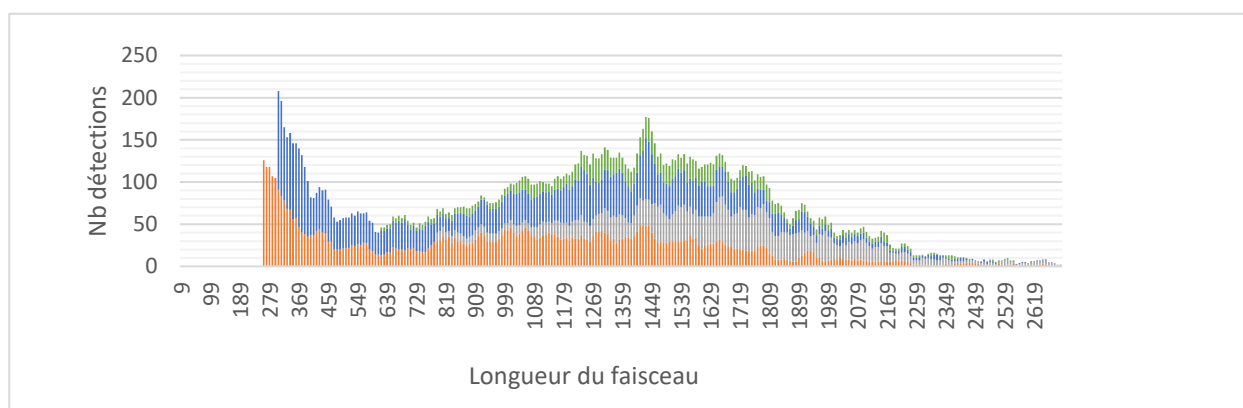


Figure 14 : Evolution de la détectabilité des cibles en fonction de la distance

Détectabilité des cibles corrigée en fonction de la distance et de la hauteur utile du faisceau

Les deux jeux de données précédents sont utilisés pour évaluer la détectabilité des cibles en fonction de la distance. Les plages de distances analysées sont limitées à 1750 mètres permettant un échantillonnage pertinent pour évaluer la proportion d'oiseaux pouvant passer au-dessus et à hauteur de parc éolien dans le cadre de ce projet.

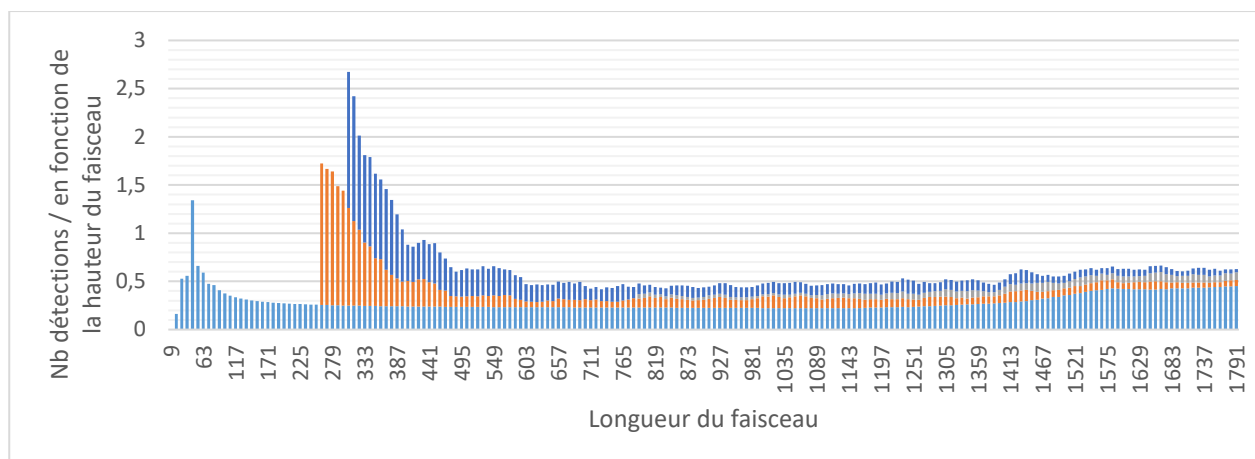


Figure 15 : Détectabilité des cibles corrigée en fonction de la distance et de la hauteur utile du faisceau

L'analyse de la figure 15 montre que la détectabilité des cibles est quasiment homogène entre 500 et 1750 mètres. En deçà de ces 500 mètres, en fonction des sites, il est possible d'observer une détectabilité plus importante des cibles. Dans la mesure où ces tranches d'altitude correspondent aux altitudes où se trouvent les éoliennes, les trajectoires des oiseaux concernés par le risque aux abords du parc sont bien toutes détectées et suivies.

III. Résultats des observations de terrain

III.1. Conditions de suivi

III.1.1. Observations ornithologiques

Lors de l'étude des migrations prénuptiales, les conditions météorologiques de suivi ont été très bonnes durant les 7 journées d'observation (37h30 d'observation) car il n'y a eu aucune averse et la visibilité est restée très bonne. La température a varié légèrement, de 10 à 19°C, et le vent a forci en fin de session de terrain, durant les 2 dernières journées.

Conditions météorologiques des journées de suivi de la migration prénuptiale 2020 au Cap Fréhel							
Date	Heure début - fin	Visibilité	Temp (°C)	Vent	Précipitation	Nb espèces contactées	Nb ind. Contactés
08/04/2020	11h - 15h	Très bonne	15°C	V1	Non	14	94
09/04/2020	9h - 15h30	Très bonne	14°C	V1	Non	17	591
10/04/2020	9h - 15h	Très bonne	18°C	V1	Non	26	380
11/04/2020	8h30 - 14h30	Très bonne	18°C	V1	Non	23	309
12/04/2020	8h30 - 14h30	Très bonne	19°C	V1	Non	14	224
13/04/2020	9h30 - 15h00	Moyenne	10°C	V4	Non	15	121
14/04/2020	8h30 - 12h	Très bonne	11°C	V3	Non	15	175

Tableau 1 : Dates et conditions météorologiques du suivi sur le terrain au printemps 2020

Au moment des migrations postnuptiales, les observations ont pu avoir lieu durant 6 jours consécutifs, du 19 au 24 octobre durant 20h45. Les conditions météorologiques dégradées n'ont pas permis de faire le

suivi dès le lever du soleil ou ont obligé l'observateur à écourter le suivi par l'arrivée de précipitations. Cependant, durant les heures de suivi, il n'y a eu aucune averse et la visibilité est restée très bonne. Les heures de suivi ont donc pu être décalées selon les précipitations en cours sur le site. La température a varié légèrement, de 9 à 19°C, et le vent a toujours été présent avec une vitesse assez élevée.

Conditions météorologiques des journées de suivi de la migration postnuptiale 2020 au Cap Fréhel							
Date	Heure début - fin	Visibilité	Temp (°C)	Vent	Précipitation	Nb espèces contactées	Nb ind. Contactés
19/10/2020	10h30 - 15h	Très bonne	9°C	V2	Non	13	46
20/10/2020	9h - 14h	Très bonne	15°C	V2	Non	12	120
21/10/2020	15h - 18h	Très bonne	19°C	V3	Non	10	36
22/10/2020	10h - 14h	Très bonne	15°C	V0	Non	14	153
23/10/2020	8h45 - 12h30	Très bonne	15°C	V3	Non	11	59
24/10/2020	8h30 - 12h00	Très bonne	10°C	V4	Non	7	25

Tableau 2 : Dates et conditions météorologiques du suivi sur le terrain (automne 2020)

III.1.2. Disponibilité des données radar

Conditions météo

Les conditions météo ont permis un échantillonnage satisfaisant à l'exception des journées du 13 et 14 avril. L'augmentation de la vitesse du vent au cours de la journée du 13 avril a nécessité un démontage prématuré du radar. Lors de la session de suivi en migration postnuptiale, la récolte des données a pu avoir lieu du 19/10 au 24/10. Cependant les averses ont brouillé les détections. Les radars ont été désinstallés le 24/10 pour des raisons de sécurité du personnel et matérielle, afin d'éviter le coup de vent qui s'est levé en fin de journée, forçant encore le lendemain.

Disponibilité du matériel et de l'alimentation électrique

La disponibilité des données est évaluée par le nombre d'images enregistrées par le système.

Session pré-nuptiale

Radar horizontal

Dates	Nombre d'images enregistrées	Nombre de secondes d'enregistrement	Temps d'enregistrement			Disponibilité des données (%)
			Heures	Minutes	Secondes	
08/04/2020	2672	10421	2	53	41	12,1
09/04/2020	22111	86233	23	57	13	99,9
10/04/2020	18908	73741	20	29	1	85,5
11/04/2020	21593	84213	23	23	33	97,6
12/04/2020	21597	84228	23	23	48	97,6
13/04/2020	8876	34616	9	36	56	40,1
14/04/2020	0	0	0	0	0	0,0

Tableau 3 : Disponibilité des données sur le radar horizontal au cours de la session pré-nuptiale 2020

Le radar a fonctionné normalement. 2h30 de données ont été perdues le 10/04/2020 par suite d'une panne de groupe électrogène.

Radar vertical

Dates	Nombre d'images enregistrées	Nombre de secondes d'enregistrement	Temps d'enregistrement			Disponibilité des données
			Heures	Minutes	Secondes	
08/04/2020	2657	10362	2	52	42	12,0
09/04/2020	21861	85258	23	40	58	98,8
10/04/2020	18598	72532	20	8	52	84,1
11/04/2020	21573	84135	23	22	15	97,5
12/04/2020	21546	84029	23	20	29	97,4
13/04/2020	8876	34616	9	36	56	40,1
14/04/2020	0	0	0	0	0	0,0

Tableau 4 : Disponibilité des données sur le radar vertical au cours de la session prénuptiale 2020

Le radar a fonctionné normalement. 2h30 de données ont été perdues le 10/04/2020 par suite d'une panne de groupe électrogène.

Session posnuptiale

Radar Horizontal

Dates	Nombre d'images enregistrées	Nombre de secondes d'enregistrement	Temps d'enregistrement			Disponibilité des données
			Heures	Minutes	Secondes	
19/04/2020	15231	59401	16	30	1	68,8
20/04/2020	21615	84299	23	24	59	97,7
21/04/2020	21716	84692	23	31	32	98,1
22/04/2020	21580	84162	23	22	42	97,5
23/04/2020	21584	84178	23	22	58	97,6
24/04/2020	4239	16532	4	35	32	19,2

Tableau 5 : Disponibilité des données sur le radar horizontal au cours de la session postnuptiale 2020

Radar vertical

Dates	Nombre d'images enregistrées	Nombre de secondes d'enregistrement	Temps d'enregistrement			Disponibilité des données
			Heures	Minutes	Secondes	
19/04/2020	15201	59284	16	28	4	68,7
20/04/2020	21365	83324	23	8	43	96,6
21/04/2020	21415	83519	23	11	58	96,8
22/04/2020	21436	83600	23	13	20	96,9
23/04/2020	21492	83819	23	16	59	97,1
24/04/2020	4841	18880	5	14	40	21,9

Tableau 6 : Disponibilité des données sur le radar vertical au cours de la session postnuptiale 2020

Les conditions météo ont permis un échantillonnage satisfaisant qui a dû être interrompu au cours de la journée du 24 octobre à cause de l'arrivée d'un coup de vent.

III.1.3. Synthèse de la disponibilité des données des radars

La première session de l'étude postnuptiale a permis des ajustements de l'installation. Malgré des conditions particulières (premier confinement lié au Covid), le système a pu fonctionner normalement grâce à l'utilisation d'un groupe électrogène palliant l'absence d'alimentation électrique.

La session postnuptiale s'est déroulée avec l'alimentation électrique fournie par les bâtiments des Phares et Balises. Cette alimentation plus stable a fiabilisé la collecte des données.

III.2. Données brutes de terrain

Durant les 13 journées d'observation (7 jours au printemps 2020 et 6 jours à l'automne 2020), 2 328 individus ont été observés, appartenant à 51 espèces différentes. 41 d'entre elles ont été contactées au printemps (migration prénuptiale) et 28 en automne (migration postnuptiale). Le Tableau 7 présente les 51 espèces ainsi que les effectifs contactés et considérés comme migrateurs pour chacune des périodes étudiées.

Espèce	Nom scientifique	Nombre d'individus (Printemps)	Nombre d'individus (Automne)
Accenteur mouchet	<i>Prunella modularis</i>	0	1
Alcidé		100	4
Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	19	2
Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	1	0
Bergeronnette grise	<i>Motacilla alba</i>	3	1
Bernache cravant	<i>Branta bernicla</i>	1	8
Bruant jaune	<i>Emberiza citrinella</i>	0	4
Buse variable	<i>Buteo buteo</i>	3	0
Chardonneret élégant	<i>Carduelis carduelis</i>	103	66
Cisticole des joncs	<i>Cistiola juncidis</i>	0	2
Cochevis huppé	<i>Galerida cristata</i>	1	0
Cormoran huppé	<i>Phalacrocorax aristotelis</i>	47	0
Corneille noire	<i>Corvus corone</i>	10	2
Coucou gris	<i>Cuculus canorus</i>	2	0
Faucon pèlerin	<i>Falco peregrinus</i>	0	2
Fauvette à tête noire	<i>Sylvia atricapilla</i>	4	0
Fou de Bassan	<i>Morus bassanus</i>	1	0
Fulmar boréal	<i>Fulmarus glacialis</i>	18	0
Goéland argenté	<i>Larus argentatus</i>	338	4
Goéland brun	<i>Larus fuscus</i>	4	0
Goéland marin	<i>Larus marinus</i>	8	1
Grand corbeau	<i>Corvus corax</i>	4	0
Grand cormoran	<i>Phalacrocorax carbo</i>	0	52
Grande aigrette	<i>Adrea alba</i>	0	2
Guillemot de Troïl	<i>Uria aalge</i>	194	1

Espèce	Nom scientifique	Nombre d'individus (Printemps)	Nombre d'individus (Automne)
Hirondelle de fenêtre	<i>Delichon urbicum</i>	164	0
Huitrier pie	<i>Haematopus ostralegus</i>	9	0
Hirondelle rustique	<i>Hirundo rustica</i>	4	0
Linotte mélodieuse	<i>Linaria cannabina</i>	66	13
Merle noir	<i>Turdus merula</i>	5	0
Mésange bleue	<i>Cyanistes caeruleus</i>	1	0
Mésange charbonnière	<i>Parus major</i>	4	5
Mouette tridactyle	<i>Rissa tridactyla</i>	60	0
Pie bavarde	<i>Pica pica</i>	0	4
Pigeon biset	<i>Columba livia</i>	14	26
Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>	16	0
Pingouin torda	<i>Alca torda</i>	0	1
Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	72	17
Pipit farlouse	<i>Anthus pratensis</i>	385	190
Pouillot fitis	<i>Phylloscopus trochilus</i>	0	1
Pouillot véloce	<i>Phylloscopus collybita</i>	3	2
Rouge gorge	<i>Erithacus rubecula</i>	0	11
Sterne		7	0
Tarier pâtre	<i>Saxicola rubicola</i>	4	6
Tarin des aulnes	<i>Spinus spinus</i>	11	0
Tadorne de belon	<i>Tadorna tadorna</i>	7	0
Traquet motteux	<i>Oenanthe oenanthe</i>	5	3
Troglodyte mignon	<i>Troglodytes troglodytes</i>	16	3
Passereau sp.		81	0
Laridés		98	0
Grand rapace sp.		1	0
Total		1894	434

Tableau 7 : Synthèse des effectifs migrants en 2020 sur le Cap Fréhel

Il est toujours assez difficile d'être catégorique sur le statut biologique de ces oiseaux alors parfois observés en haltes. Cependant, les dates des contacts, les comportements, et quelques fois l'absence d'autre contact à d'autres périodes de l'année permettent de conclure qu'il s'agit bien d'oiseaux migrants.

Les données récoltées lors des migrations pré- et postnuptiale démontrent un cortège spécifique modéré (51 espèces) et concernent majoritairement le passage d'oiseaux d'eau et de passereaux, dont les principaux sont :

- **Pour les oiseaux d'eau au printemps** : Le Goéland argenté, qui représente la majorité des observations (338 individus), les autres espèces de Goéland étant bien moins représentées. Le Guillemot de Troil est également très présent (194 individus). La Mouette tridactyle et le Cormoran huppé sont également bien représentés (respectivement 60 et 47 individus).

- **Pour les oiseaux d'eau à l'automne :** Le Grand Cormoran, qui est l'espèce la plus observée avec 52 individus.
- **Pour les passereaux au printemps :** le Pipit farlouse (385 individus), l'Hirondelle de fenêtre (164 individus) et le Chardonneret élégant (103 individus), et, dans une moindre mesure, le Pinson des arbres (72 individus) et la Linotte mélodieuse (66 individus).
- **Pour les passereaux à l'automne :** le Pipit farlouse (190 individus), le Chardonneret élégant (66 individus) et dans une moindre mesure le Pinson des arbres (17 individus), la Linotte mélodieuse (13 individus), et le Rouge-gorge familier (11 individus).

III.3. Analyse de nombre de contacts en fonction de la date

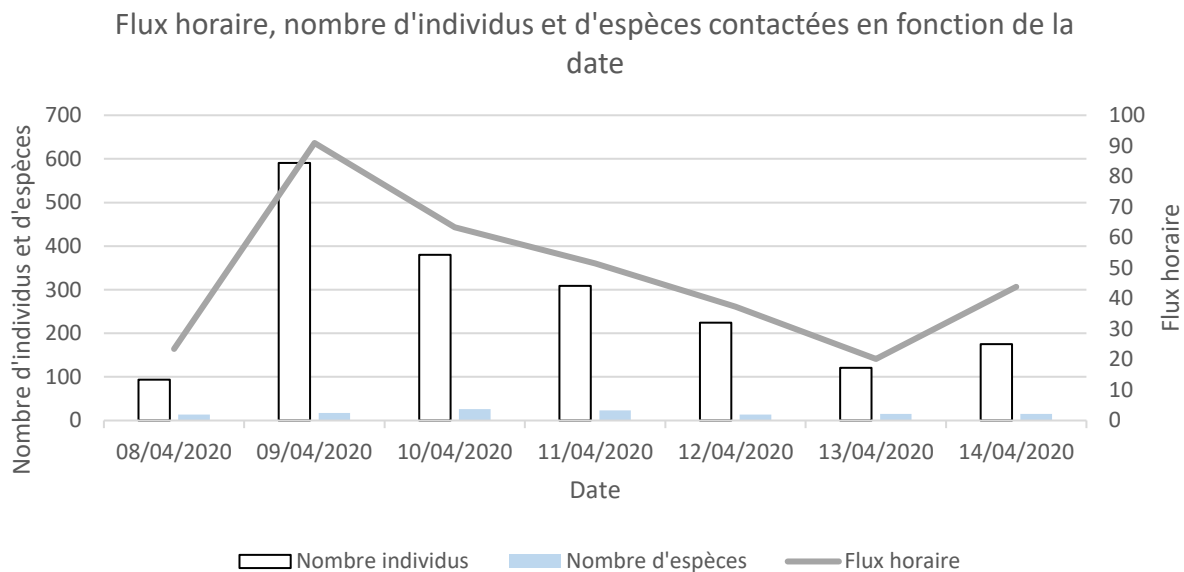


Figure 16 : Flux horaires pendant la migration pré-nuptiale au Cap Fréhel

Un pic d'activité est nettement observable le 9 avril 2020 avec un maximum de 591 individus contactés, soit près de 6 fois plus d'individus que la veille (Figure 16 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). En revanche, c'est le 10 avril que le nombre d'espèces contactées atteint son maximum avec un total de 26 espèces différentes, représentées par un total de 380 individus. En effet, suite à ces deux jours de forte activité migratoire, une diminution progressive du nombre d'individus contactés, mais également du nombre d'espèce, est observable durant les 3 jours suivant, pour réaugmenter légèrement le 14 avril 2020.

Cependant, la journée du 13 avril 2020 a enregistré des conditions météorologiques moins favorables (Tableau 1). La légère hausse d'activité observée le jour suivant (le 14 avril 2020) peut être imputé à ce paramètre qui a pu affaiblir le jeu de données par une visibilité réduite de l'observateur et une activité avifaunistique plus faible due aux conditions climatiques.

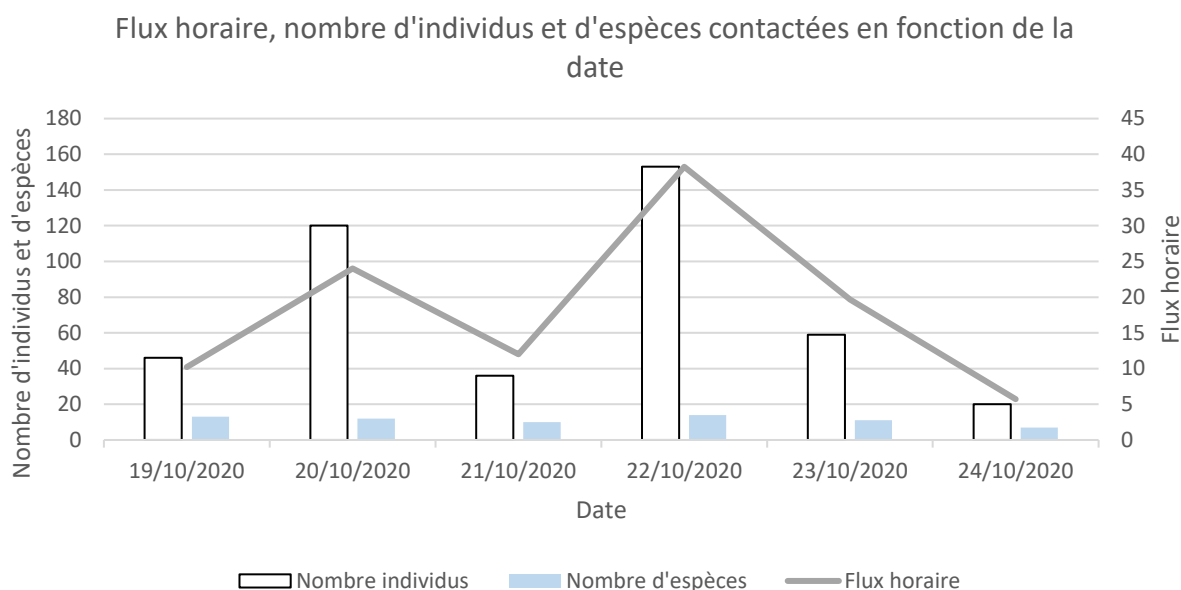


Figure 17 : Flux horaires pendant la migration postnuptiale au Cap Fréhel

Un pic d'activité est nettement observable le 22 octobre 2020 avec un maximum de 153 individus pour 14 espèces contactés, soit près de 5 fois plus d'individus que la veille : 36 individus pour 10 espèces (Figure 17). L'intensité de l'activité migratoire semble avoir été assez aléatoire durant ce suivi, avec une alternance de jours à faibles passages (19, 21 et 23 octobre) et de jours à passages plus denses (20 et 22 octobre).

Cependant, la journée du 21 octobre 2020 a enregistré des conditions météorologiques moins favorables avec un vent assez fort (Tableau 2 :). La légère hausse d'activité observée le jour suivant (le 22 octobre 2020) peut être imputée à ce paramètre qui a pu affaiblir le jeu de données par une visibilité réduite de l'observateur et une activité avifaunistique plus faible due aux conditions climatiques.

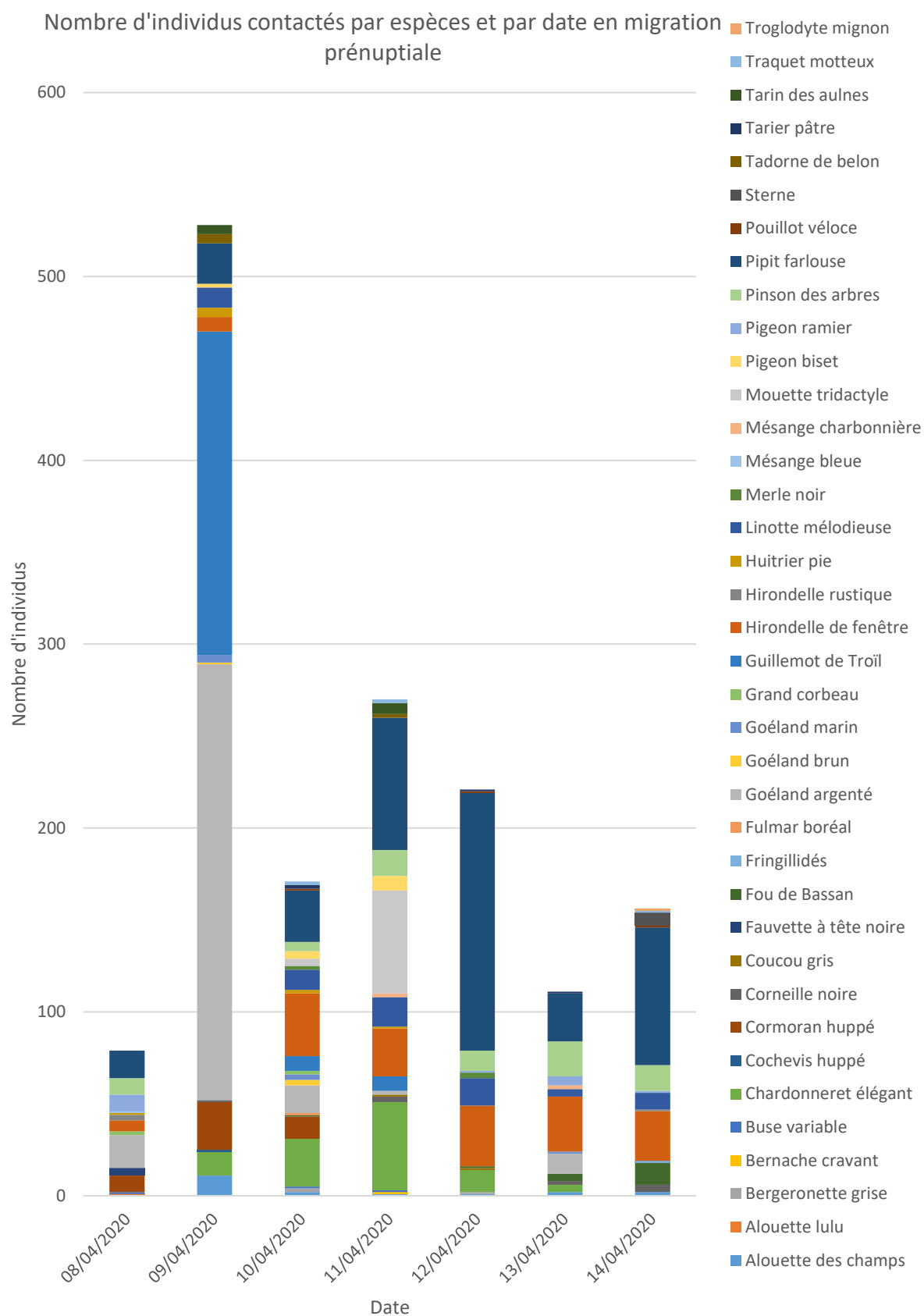


Figure 18 : Avifaune en migration prénuptiale par date et par espèce au Cap Fréhel

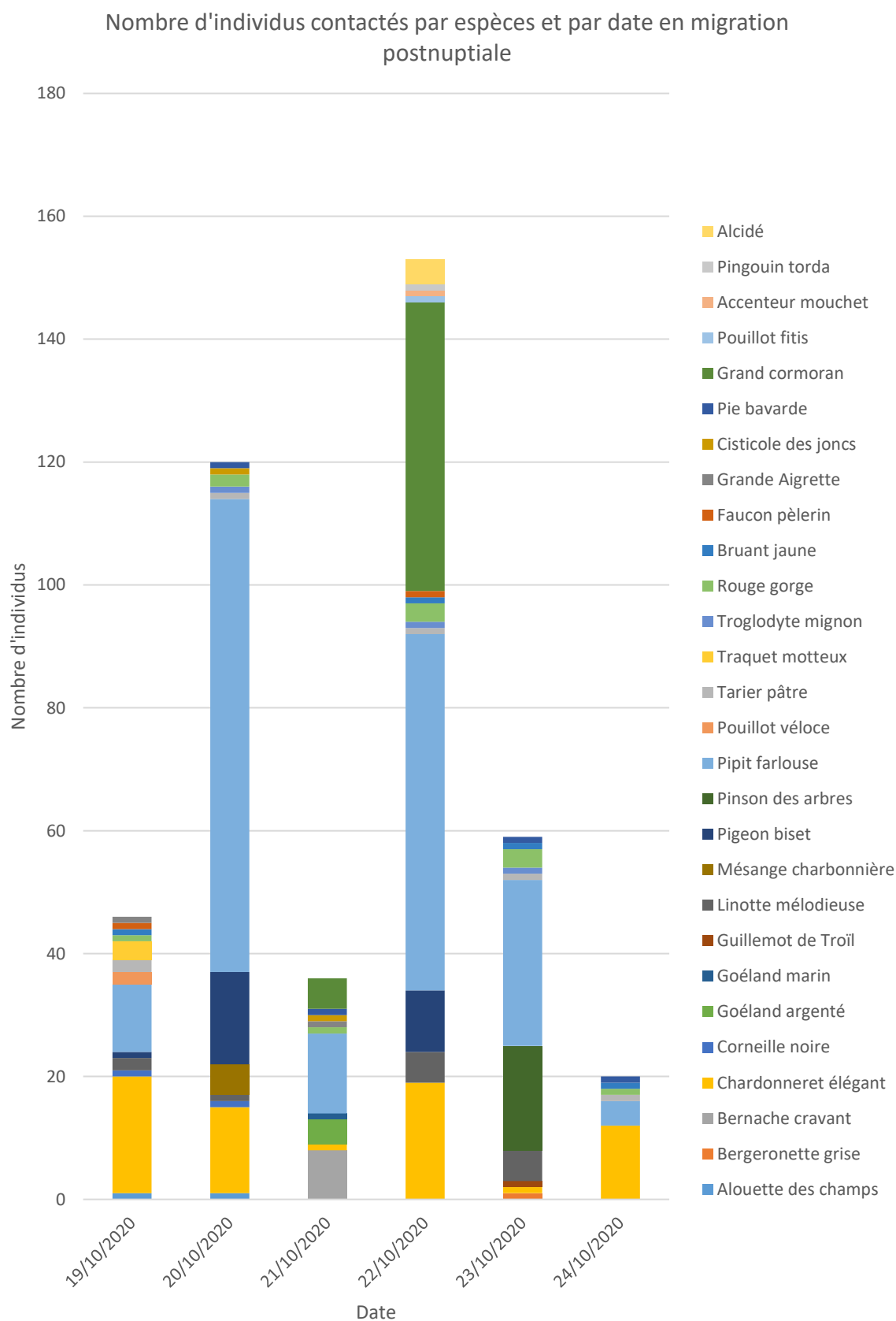


Figure 19 : Avifaune en migration postnuptiale par date et par espèce au Cap Fréhel

III.4. Analyse des données en fonction de l'altitude de vol

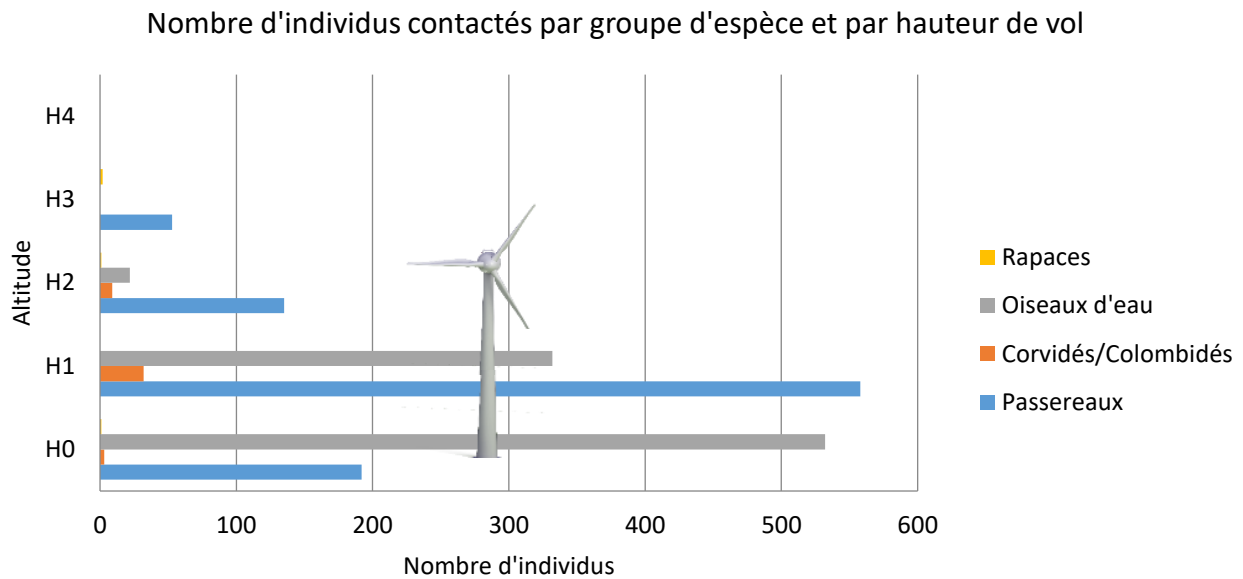


Figure 20 : Hauteurs de vol pendant la migration prénuptiale au Cap Fréhel - H0 = repos, H1 = en-dessous des pales (0-130m), H2 = à hauteur de pales (130-210m), H3 = au-dessus des pales (210-250m) et H4 = bien au-dessus des pales (>250m)

Les hauteurs de vol recensées durant la période de migration prénuptiale (Figure 20) sont :

- Vol majoritairement en-dessous des pales, pour l'ensemble des groupes d'espèces observées (hormis les oiseaux d'eau), avec 589 individus observés (≈32% des effectifs totaux recensés),
- A hauteur de pales pour 222 individus, soit environ 12% des observations,
- Posés en mer pour 60% des oiseaux d'eau.

En ce qui concerne les 892 oiseaux d'eau observés, les hauteurs de vols notées lors des inventaires sont :

- A hauteur de rotation des pales pour 22 individus,
- En-dessous des pales pour 870 individus.

Pour les 922 passereaux, les hauteurs de vols observées en migration prénuptiale sont pour :

- 734 individus en-dessous des pales,
- 188 individus à hauteur de rotation des pales (Figure 20 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Nombre d'individus contactés par groupe d'espèce et par hauteur de vol

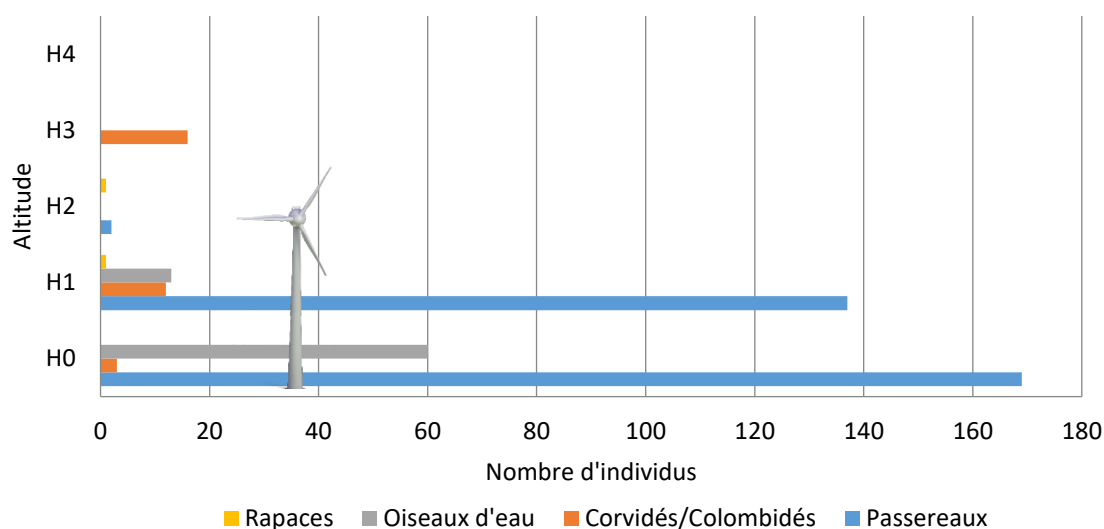


Figure 21 : Hauteurs de vol pendant la migration postnuptiale au Cap Fréhel - H0 = repos, H1 = en-dessous des pales (0-130m), H2 = à hauteur de pales (130-210m), H3 = au-dessus des pales (210-250m) et H4 = bien au-dessus des pales (>250m)

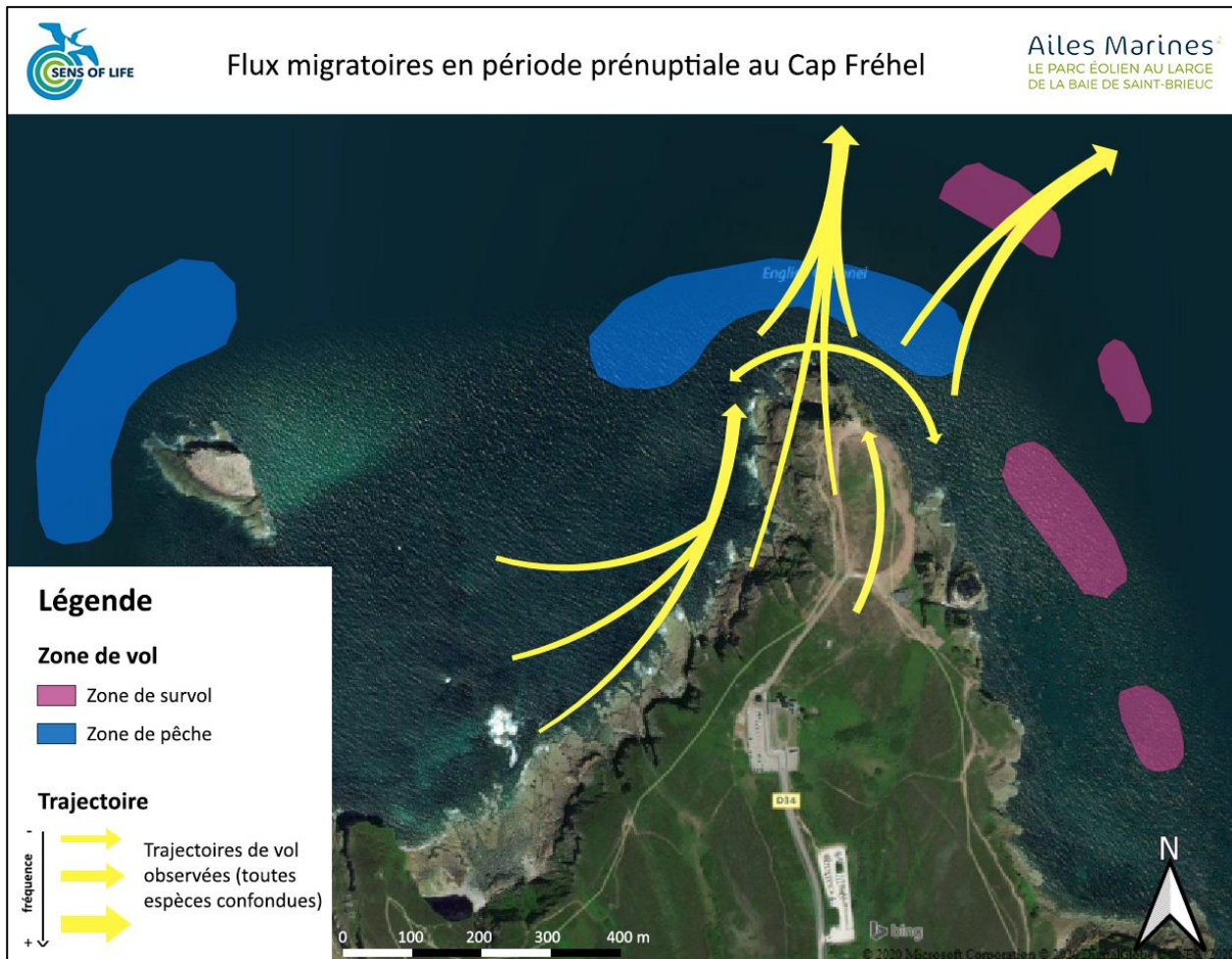
La Figure 21 présente la hauteur de vol des individus observés durant le suivi de la migration postnuptiale au Cap Fréhel. On constate que :

- La grande majorité des espèces contactées durant le suivi se trouvaient en dessous des pales (H0 et H1) pour tous les groupes d'oiseaux : 395 individus soit 95% du nombre total d'oiseaux observés,
- Tous les oiseaux d'eau ont été contactés en dessous des pales (H1 et H2),
- La moitié des Corvidés/Colombidés (15 individus) ont été observés au-dessus des pales (H3),
- Seuls 2 passereaux et 1 rapace ont été observés à hauteur des pales durant le suivi.

III.5. Localisation des flux migratoires

Les cartes suivantes présentent les observations des principales trajectoires observées par les ornithologues au sol lors de la semaine de suivi de la migration pré-nuptiale (Carte 1) et celle de la migration postnuptiale (Carte 2). Pour plus de visibilité, les déplacements de chaque individu observé n'apparaissent pas sur les cartes, mais des flèches retranscrivent les déplacements fréquents d'un groupe d'individus et les directions principales des trajectoires les plus fréquemment empruntées par une espèce ou un groupe d'espèces. Les surfaces colorées représentent les zones de nourrissage (pêche), de survol (trajectoires circulaires ou aller-retours dans cette zone) ou de halte migratoire fréquemment utilisées pour une espèce ou un groupe d'espèces (oiseaux d'eau, passereaux).

La Carte 1 démontre que les oiseaux migrateurs en migration prénuptiale (principalement des passereaux) longent les falaises à l'ouest à basse altitude, prennent ensuite de l'altitude au-dessus du Cap Fréhel et s'éloignent vers le large à partir de l'extrémité de la pointe dans une direction majoritairement nord/nord-est. Les Laridés volent à basse altitude d'est en ouest et d'ouest en est durant toute la journée le long de la pointe du cap et utilisent des zones de pêche face au cap avec les Alcides.



Carte 1 : Flux migratoires de l'avifaune recensés du 08/04/20 au 14/04/20

Concernant la migration postnuptiale (Carte 2), on constate sur ces cartes que les passages sont assez diffus sur le site, avec une densité légèrement plus élevée au niveau de la côte Nord-Ouest. Certains passereaux patrimoniaux sont assez présents sur le site (Pipit farlouse, Linotte mélodieuse, Chardonneret élégant), en halte ou en migration active.

Les « oiseaux d'eau » (Goéland argenté, Bernache cravant, Guillemot de Troïl etc.) observés sur le site ont été notés principalement au niveau des côtes, en vol ou posés sur les rochers.



Carte 2 : Flux migratoire de l'avifaune recensés du 19/10/20 au 23/10/20

III.6. Résultats du suivi par radar

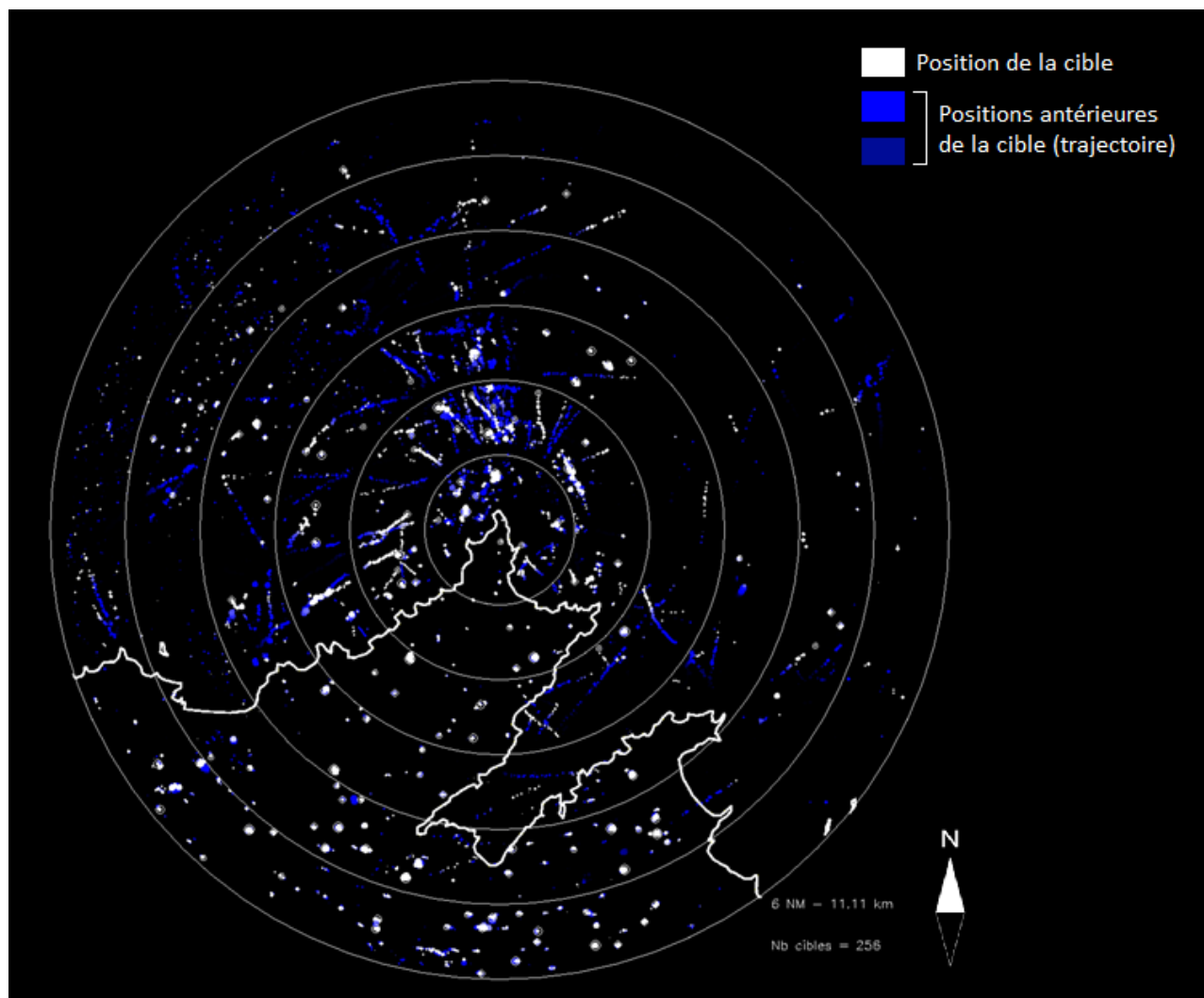
III.6.1. Radar horizontal

Au cours de la session pré-nuptiale le radar horizontal a collecté 95 745 images sur lesquelles plus de 11 millions de position de cibles ont été analysées, représentant près de 1 million de positions d'oiseaux.

Au cours de la session postnuptiale le radar horizontal a collecté 105 965 images sur lesquelles plus de 8 millions de position de cibles ont été analysées, représentant près de 0.5 million de positions d'oiseaux.

Données cartographiques

Exemple de données butes



Carte 3 : Extrait des détections radar pour le 08/04 en début de nuit (21h10)

Cette carte 3 représente les données acquises par la station REALA-S sur la tour Vauban du Cap Fréhel au début de la nuit du 08/04. Deux éléments spécifiques sont ajoutés aux données pour permettre leur interprétation :

- Le trait de côte vectorisé,
- Les cercle de distance au radar tous les 1 miles nautiques.

Les cibles sont ensuite projetées avec une visualisation des positions précédentes qui s'efface progressivement passant du blanc au bleu puis au noir.

Ainsi une cible fixe forme un groupe de pixel blanc, éventuellement entouré d'un fin halo bleu si son positionnement est bruité. C'est le cas notamment lorsque le groupe de pixels résulte d'un artefact de détection.

Inversement, une cible mobile est représentée par une série de points contigus ou plus espacés, alignés sur une trajectoire. La couleur de ces points varie :

- Du blanc pour la position la plus récente,
- Au bleu pour les positions antérieures,
- En finissant par se fondre dans la couleur de fond (noire).

Ce mode de représentation permet de visualiser instantanément la position et la nature des différentes cibles :

- Les cibles fixes constituées par des éléments paysagers apparaissent comme des points blancs, fixes d'une image à l'autre,
- Le bruit apparaît sous forme de points blancs disparaissant d'une image à l'autre,
- Les cibles mobiles pouvant être des oiseaux, des avions, des bateaux... apparaissent sous forme d'un point ou d'un trait blanc suivi d'une trajectoire bleue se fondant vers le noir.

La taille des échos renseigne sur la taille de la cible, la taille des échos des oiseaux est très généralement inférieure à une surface de 100 pixels (10x 10 pixels).

Carte de synthèse des directions de vol pour la migration prénuptiale

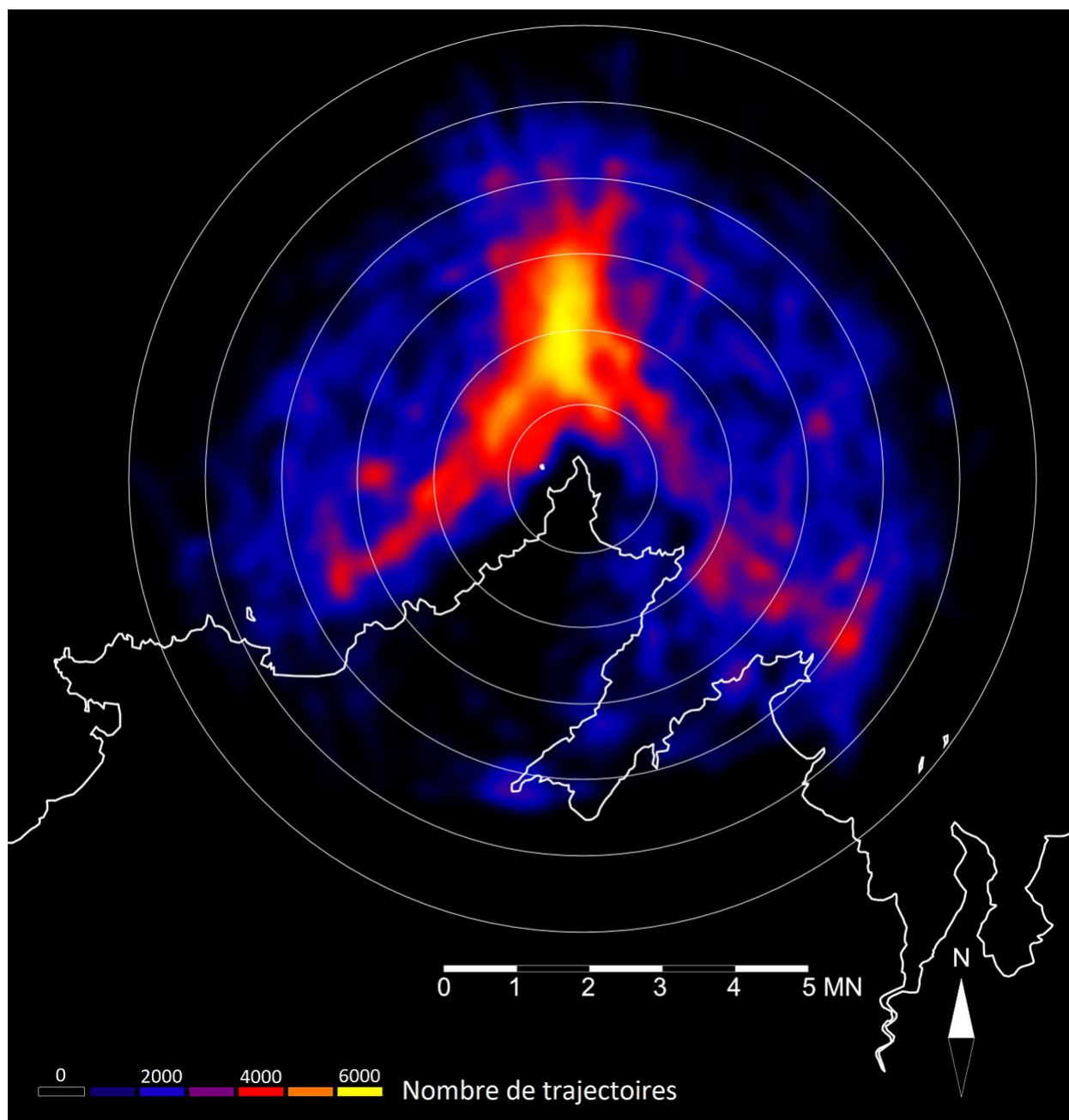
La superposition de l'ensemble des trajectoires détectée au cours de la session prénuptiale 2020 permet de construire une carte présentée dans la Carte 4 suivante. Cette carte fait apparaître les routes de vol préférentielles de l'ensemble des cibles ayant été identifiées comme étant des oiseaux.

Cette carte fait apparaître un couloir de déplacement préférentiel sud → nord centré sur la pointe du cap Fréhel. Le cap semble constituer un repère pour les animaux en migration qui longe la cote de part et d'autre avant de s'élancer en mer à partir de cette rupture du trait de côte. En effet, une activité plus dense est constatée le long des côtes puis se concentre un peu au-delà de 1 mile nautique cap pour s'élancer vers le nord.

L'activité plus faible au-dessus des terres est probablement dû à deux phénomènes :

- Un bruit plus important (mouvement de végétation) pouvant limiter la détection,
- Un volume de détection moindre lié au relief.

Les données présentées sur la carte suivante ne prennent pas en compte ces phénomènes qui seront corrigés dans le rapport final.

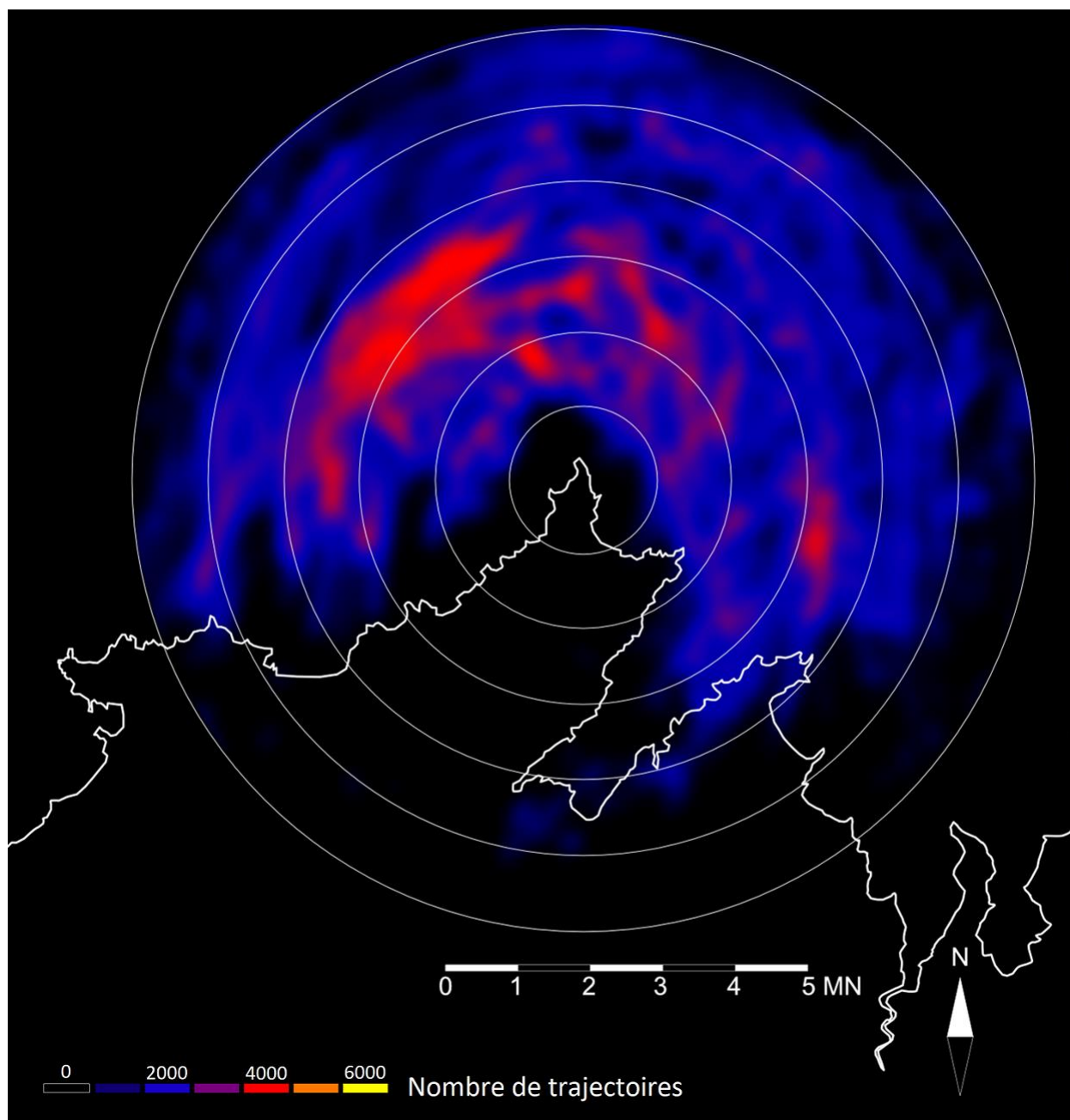


Carte 4 : Compilation des trajectoires détectées au cours de la migration pré-nuptiale, données non corrigées par la détectabilité des cibles en fonction de la distance

Carte de synthèse des directions de vol pour la migration post nuptiale

La superposition de l'ensemble des trajectoires détectées au cours de la session postnuptiale 2020 permet de construire une carte présentée dans la Carte 5 suivante. Comme pour l'étude pré-nuptiale, cette carte fait apparaître les routes de vol préférentielles de l'ensemble des cibles ayant été identifiées comme étant des oiseaux.

Contrairement aux observations en migration pré-nuptiale, cette carte présente une activité plus diffuse en période post-nuptiale.



Carte 5 : Compilation des trajectoires détectées au cours de la migration post-nuptiale, données non corrigées par la détectabilité des cibles en fonction de la distance

Il est à nouveau possible d'observer une activité plus faible au-dessus des terres est probablement dû aux deux phénomènes décrits dans le paragraphe précédent.

Quantification des flux migratoires

La quantification des flux est obtenue par le dénombrement de la totalité des trajectoires orientées vers le nord, depuis le nord-ouest (315°) au nord-est (45°).

Migration prénuptiale

La réalisation de ces calculs nécessite la correction des données par la détectabilité des cibles en fonction de la distance. Pour éviter des hétérogénéités dans le traitement, ces valeurs seront calculées dans le rapport de synthèse de toutes les années de suivi qui compilera de manière robuste les distances de détectabilité relevées eu cours de différentes sessions.

Migration post nuptiale

Comme pour la migration prénuptiale, la réalisation de ces calculs nécessite la correction des données par la détectabilité des cibles en fonction de la distance. Pour éviter des hétérogénéités dans le traitement, ces valeurs seront calculées dans le rapport de synthèse de toutes les années de suivi qui compilera de manière robuste les distances de détectabilité relevées eu cours de différentes sessions.

III.6.2. Radar vertical, altitudes de vol

Exemple de données butes

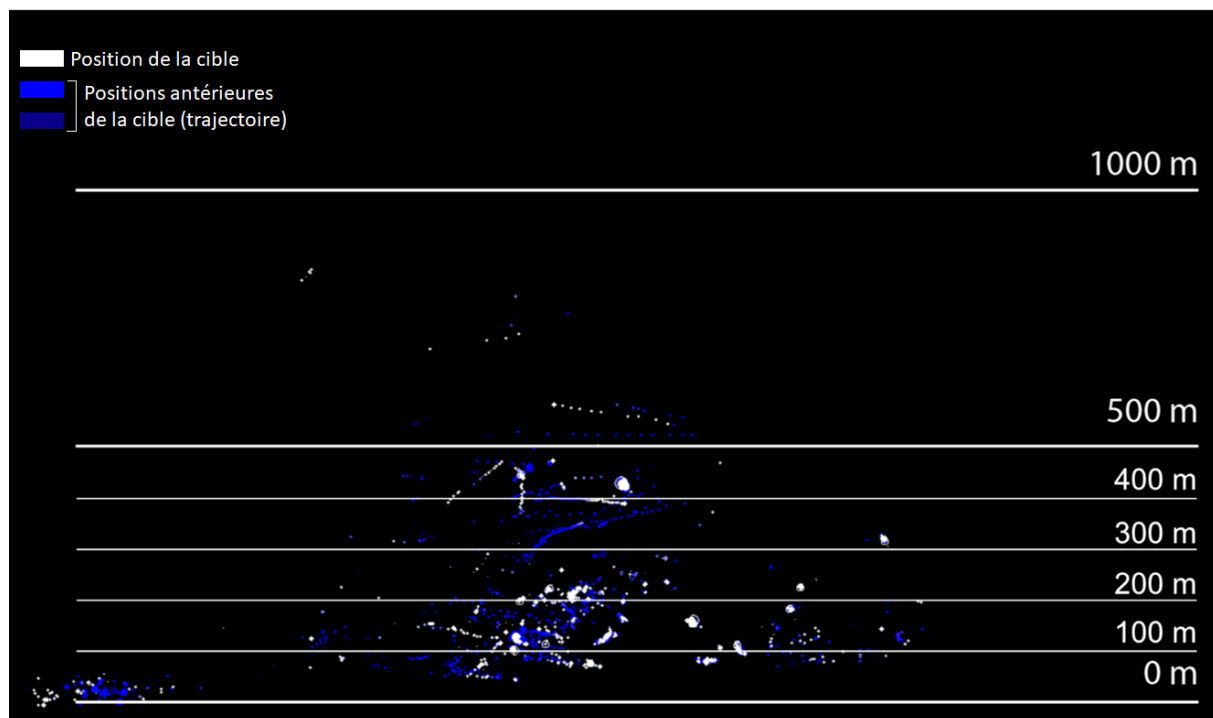


Figure 22 : Extrait de l'analyse des altitudes de vol par radar (09/04/2020 à 2h10)

Migration pré-nuptiale

Les variations des altitudes de vol pour la session pré-nuptiale sont présentées dans la figure 23. Sur cette dernière, il est possible d'observer des variations journalières d'activité régulières pour les altitudes basses, inférieures à 100 mètres. D'autres pics d'activité irréguliers apparaissent pour des altitudes plus élevées. Deux passages migratoires peuvent notamment être identifiés au cours des fins de nuit des 10 et 11 avril, à une altitude légèrement supérieure à 1000 mètres.

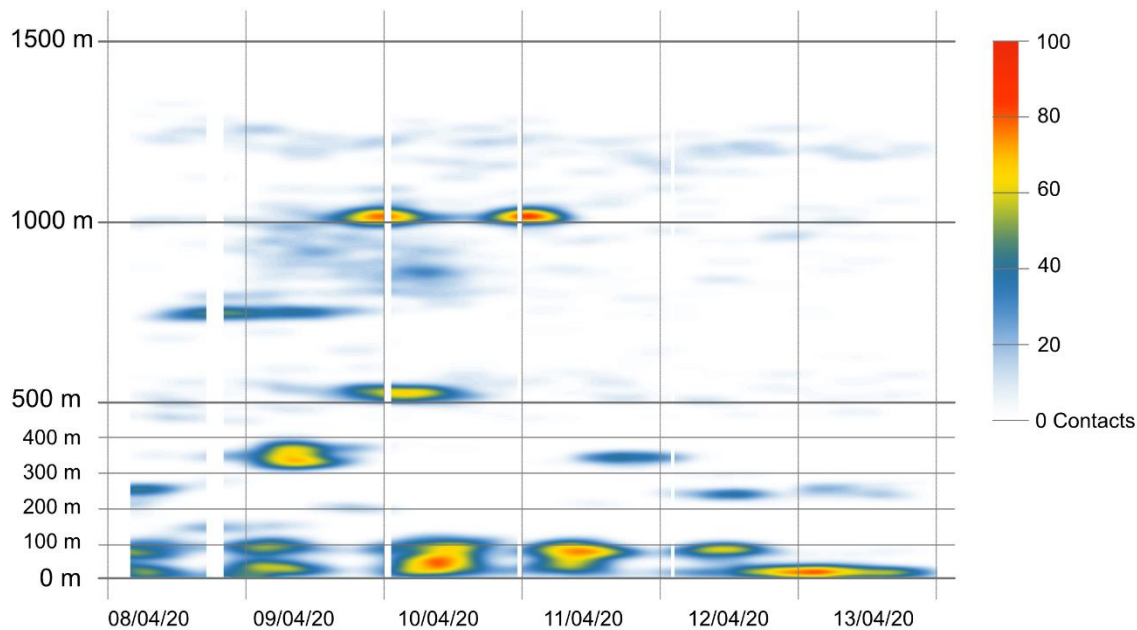


Figure 23 : Représentation des altitudes de vol en fonction du temps pour la session pré-nuptiale

Migration post-nuptiale

Les variations des altitudes de vol pour la session post-nuptiale sont présentées dans la Figure 24. Sur ces dernières, comme au printemps, il est possible d'observer des variations journalières d'activité régulières pour les altitudes basses, inférieures à 100 mètres. Aucun autre pic n'est identifiable, l'activité semble diffuse avec une densité plus élevée :

- Entre 500 et 600 mètres au cours de la période,
- De manière moins marquée, entre 1100 et 1200 m au cours de la période.

Au-delà de ces périodes, l'activité s'effondre probablement en lien avec une dégradation des conditions météorologiques.

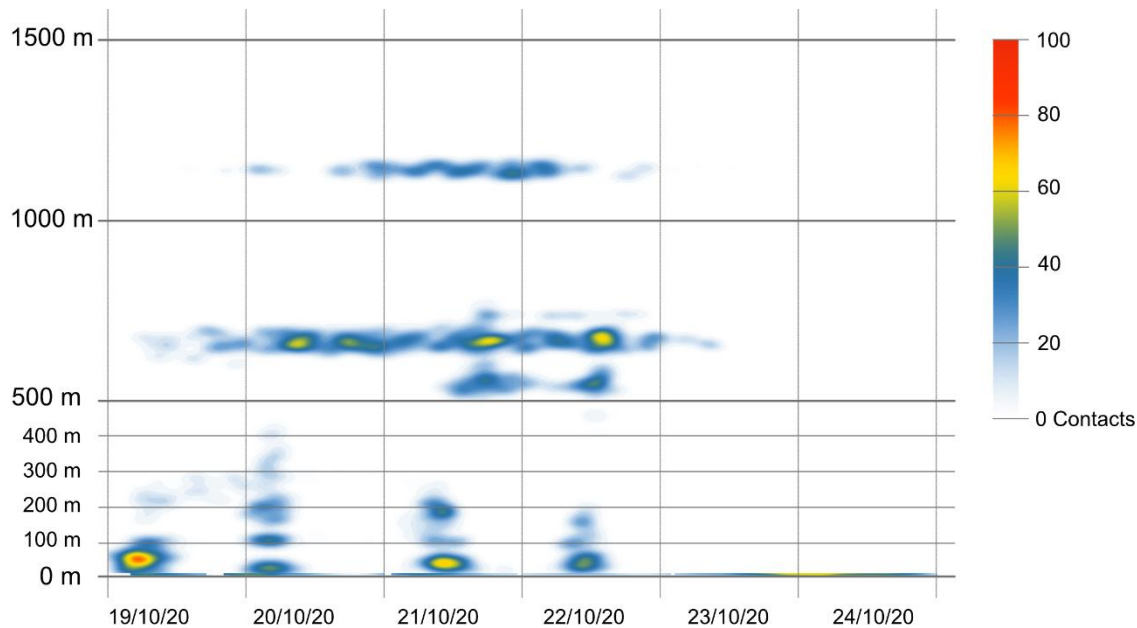


Figure 24 : Représentation des altitudes de vol en fonction du temps pour la session postnuptiale

Concernant le suivi de la migration postnuptiale, les 2 radars ont enregistré les trajectoires d'oiseaux à partir du 18 octobre jusqu'au 23 octobre 2020 en continu, jour et nuit. Il a été décidé de démonter le radar en bande S le 23/10 au soir car le vent forçissait jusqu'à atteindre 80 km/h et empêchait une désinstallation en toute sécurité le lendemain.

IV. Migration avifaunistique dans la baie de Saint-Brieuc et ses alentours

Afin de dénombrer et caractériser au mieux les peuplements avifaunistiques sédentaires et/ou migrateurs, de nombreux groupes d'experts, d'associations et de bénévoles réalisent chaque année différents types de suivi ornithologique, depuis 1970 pour certaines (Sturbois et Ponsero, 2018).

La grande partie des suivis ornithologiques réalisés au cap Fréhel et ses alentours est réalisée par protocoles standardisés de comptage par observation et/ou des programmes de baguages, souvent couplés aux données opportunistes disponibles sur différentes plateformes de saisie en ligne telles que www.faune-bretagne.org (Février et al., 2016), ou encore, www.migraction.net (Duquet, 2013).

Les protocoles les plus réguliers et importants sont :

- Le comptage de la mi-janvier de Wetlands International,
- Les points d'observation à postes fixes,
- Le guet à la mer.

Selon les recherches sur les différents suivis des oiseaux migrants présents au Cap Fréhel et/ou à ses alentours, 37 espèces d'oiseaux d'eau, 5 de rapaces, 42 de passereaux, 7 de corvidés/colombidés et 2

d'autres espèces sont régulièrement contactées lors des comptages¹. Ces espèces peuvent donc être considérées comme « régulières » sur le territoire et suscitent ainsi un intérêt plus prononcé.

Bien évidemment, l'étude bibliographique étant ciblée, les espèces citées ci-après peuvent varier en fonction de l'étude et des objectifs visés. De plus, seules les espèces les plus relevées ont été nommées.

Nom commun	Nom scientifique
Aigrette garzette	<i>Egretta garzetta</i>
Barge rousse	<i>Limosa lapponica</i>
Bécasseau maubèche	<i>Calidris canutus</i>
Bécasseau sanderling	<i>Calidris alba</i>
Bécasseau variable	<i>Calidris alpina</i>
Bécassine des marais	<i>Gallinago gallinago</i>
Bernache cravant	<i>Branta bernicla</i>
Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i>
Canard siffleur	<i>Mareca penelope</i>
Chevalier aboyeur	<i>Tringa nebularia</i>
Chevalier gambette	<i>Tringa totanus</i>
Cormoran huppé	<i>Phalacrocorax aristotelis</i>
Courlis cendré	<i>Numenius arquata</i>
Fou de Bassan	<i>Morus bassanus</i>
Fulmar boréal	<i>Fulmarus glacialis</i>
Goéland argenté	<i>Larus argentatus</i>
Goéland brun	<i>Larus fuscus</i>
Goéland cendré	<i>Larus canus</i>
Goéland marin	<i>Larus marinus</i>
Grand cormoran	<i>Phalacrocorax carbo</i>

Nom commun	Nom scientifique
Grand gravelot	<i>Charadrius hiaticula</i>
Grèbe à cou noir	<i>Podiceps nigricollis</i>
Grèbe castagneux	<i>Tachybaptus ruficollis</i>
Grèbe huppé	<i>Podiceps cristatus</i>
Guillemot de Troïl	<i>Uria aalge</i>
Héron cendré	<i>Ardea cinerea</i>
Huîtrier-pie	<i>Haematopus ostralegus</i>
Macareux moine	<i>Fratercula arctica</i>
Macreuse noire	<i>Melanitta nigra</i>
Mouette rieuse	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>
Mouette tridactyle	<i>Rissa tridactyla</i>
Océanite tempête	<i>Hydrobates pelagicus</i>
Pingouin torda	<i>Alca torda</i>
Pluvier argenté	<i>Pluvialis squatarola</i>
Pluvier doré	<i>Pluvialis apricaria</i>
Puffin des Anglais	<i>Puffinus puffinus</i>
Puffin des Baléares	<i>Puffinus mauretanicus</i>

Tableau 8 : Tableau de synthèse des différentes espèces d'oiseaux d'eau relevées dans au moins 3 documents de référence différents consultés

¹ Espèces citées dans au moins 3 documents de référence différents consultés

Nom commun	Nom scientifique
Busard Saint-Martin	<i>Circus cyaneus</i>
Buse variable	<i>Buteo buteo</i>
Epervier d'Europe	<i>Accipiter nisus</i>
Faucon émerillon	<i>Falco columbarius</i>
Faucon pèlerin	<i>Falco peregrinus</i>

Tableau 9 : Tableau de synthèse des différentes espèces de rapaces relevées dans au moins 3 documents de référence différents consultés.

Nom commun	Nom scientifique
Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>
Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>
Bec-croisé des sapins	<i>Loxia curvirostra</i>
Bergeronnette des ruisseaux	<i>Motacilla cinerea</i>
Bergeronnette grise	<i>Motacilla alba</i>
Bergeronnette printanière	<i>Motacilla flava</i>
Bouvreuil pivoine	<i>Pyrrhula pyrrhula</i>
Bruant des roseaux	<i>Emberiza schoeniclus</i>
Bruant jaune	<i>Emberiza citrinella</i>
Bruant lapon	<i>Calcarius lapponicus</i>
Bruant proyer	<i>Emberiza calandra</i>
Bruant zizi	<i>Emberiza cirius</i>
Chardonneret élégant	<i>Carduelis carduelis</i>
Etourneau sansonnet	<i>Sturnus vulgaris</i>
Fauvette pitchou	<i>Sylvia undata</i>
Geai des chênes	<i>Garrulus glandarius</i>
Grive draine	<i>Turdus viscivorus</i>
Grive litorne	<i>Turdus pilaris</i>
Grive mauvis	<i>Turdus iliacus</i>
Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>
Hirondelle de rivage	<i>Riparia riparia</i>
Hirondelle rustique	<i>Hirundo rustica</i>

Nom commun	Nom scientifique
Linotte mélodieuse	<i>Linaria cannabina</i>
Merle noir	<i>Turdus merula</i>
Mésange à longue queue	<i>Aegithalos caudatus</i>
Mésange bleue	<i>Cyanistes caeruleus</i>
Mésange noire	<i>Periparus ater</i>
Mésange charbonnière	<i>Parus major</i>
Moineau domestique	<i>Passer domesticus</i>
Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>
Pinson du nord	<i>Fringilla montifringilla</i>
Pipit de Richard	<i>Anthus richardi</i>
Pipit des arbres	<i>Anthus trivialis</i>
Pipit farlouse	<i>Anthus pratensis</i>
Pipit spioncelle	<i>Anthus spinoletta</i>
Pouillot véloce	<i>Phylloscopus collybita</i>
Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>
Serin cini	<i>Serinus serinus</i>
Sizerin flammé	<i>Acanthis flammea</i>
Tarin des aulnes	<i>Spinus spinus</i>
Traquet motteux	<i>Oenanthe oenanthe</i>
Verdier d'Europe	<i>Chloris chloris</i>

Tableau 10 : Tableau de synthèse des différentes espèces de passereaux relevées dans au moins 3 documents de référence différents consultés.

Nom commun	Nom scientifique
Choucas des tours	<i>Corvus monedula</i>
Corbeau freux	<i>Corvus frugilegus</i>
Corneille noire	<i>Corvus corone</i>
Pigeon colombin	<i>Columba oenas</i>
Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>
Tourterelle des bois	<i>Streptopelia turtur</i>
Tourterelle turque	<i>Streptopelia decaocto</i>

Tableau 11 : Tableau de synthèse des différentes espèces de corvidés et colombidés relevées dans au moins 3 documents de référence différents consultés.

Nom commun	Nom scientifique
Engoulevent d'Europe	<i>Caprimulgus europaeus</i>
Pic épeiche	<i>Dendrocopos major</i>

Tableau 12 : Tableau de synthèse des différentes espèces (hors oiseaux d'eau, rapaces, passereaux et corvidés/colombidés) relevées dans au moins 3 documents de référence différents consultés.

En comparant le nombre d'espèces contactées au cours des 2 semaines de suivi de migration pré et postnuptiale en 2020, avec le nombre d'espèces régulièrement contactées sur le Cap Fréhel par les groupes d'experts et associations lors des comptages, il apparaît que 40% d'entre elles ont été recensées. La faible étendue temporelle du suivi (une semaine pour chaque type de migration), explique certainement que certaines fenêtres de migration de plusieurs espèces n'ont pu être observées. En effet, les dates de ces migrations peuvent varier de plusieurs mois selon les espèces considérées. La migration postnuptiale, par exemple, débute en été pour les limicoles mais s'achève en hiver pour les oiseaux de mer. Ainsi, il est normal que certaines espèces observées lors des comptages de Wetlands International à la mi-janvier ne soient pas recensées dans les suivis de 2020 au Cap Fréhel.

En revanche, il est à noter que certaines espèces contactées durant les deux semaines de suivi n'apparaissent pas dans la liste des oiseaux régulièrement contactés. Elles sont au nombre de 13 : le Pigeon biset, l'Accenteur mouchet, la Cistiole des joncs, le Cochevis huppé, le Coucou gris, la Fauvette à tête noire, le Grand corbeau, la Grande aigrette, l'Hirondelle de fenêtre, la Pie bavarde, le Pouillot fitis, le Tadorne de belon, et le Troglodyte mignon. Parmi ces espèces, seuls le Pigeon biset et le Troglodyte mignon ont été contactés à chaque période. Les autres espèces n'ont été contactées que sur une seule des deux semaines et à hauteur de quelques individus (1 à 4), exceptés l'Hirondelle de fenêtre pour laquelle 164 individus ont été comptés.

Ces investigations de terrain, bien que limitées dans le temps, ont tout de même permis de mettre en évidence l'utilisation de ce site par 19 espèces patrimoniales, dont certaines sont classées « vulnérables » au niveau régional, ce qui dénote un niveau d'enjeu non négligeable de ce site pour l'avifaune migratrice.

V. Bilan terrain des migrations prénuptiale et postnuptiale 2020

Les inventaires menés au cours des migrations prénuptiale et postnuptiale au Cap Fréhel dévoilent la présence de 51 espèces migratrices, dont 41 observées en migration prénuptiale et 28 en migration postnuptiale. Parmi elles, 18 ont une forte valeur patrimoniale :

- 9 espèces d'oiseaux d'eau : la **Bernache cravant** (*Branta bernicla*), le **Fulmar boréal** (*Fulmarus glacialis*), le **Goéland argenté** (*Larus argentatus*), le **Grand cormoran** (*Phalacrocorax carbo*), la **Grande aigrette** (*Ardea alba*), le **Guillemot de Troïl** (*Uria aagle*), l'**Huitrier pie** (*Haematopus ostralegus*), la **Mouette tridactyle** (*Rissa tridactyla*) et le **Pingouin torda** (*Alca torda*) ;
- 7 espèces de passereaux : le **Bruant jaune** (*Emberiza citrinella*), le **Chardonneret élégant** (*Carduelis carduelis*), la **Cisticole des joncs** (*Cisticola juncidis*), la **Linotte mélodieuse** (*Linaria cannabina*), le **Pipit farlouse** (*Anthus pratensis*), le **Pouillot fitis** (*Phylloscopus trochilus*) et le **Traquet motteux** (*Oenanthe oenanthe*) ;
- 1 espèce de rapace : le **Faucon pèlerin** (*Falco peregrinus*).
- 1 espèce de corvidé : le **Grand corbeau** (*Corvus corax*).

Parmi les différentes espèces relevées dans la bibliographie sur la migration avifaunistique au Cap Fréhel et ses alentours, l'étude de migration prénuptiale a permis d'observer environ :

- 27% des oiseaux d'eau relevés ont été contactés lors du suivi en avril 2020,
- 33% des passereaux relevés ont été contactés lors du suivi en avril 2020,
- 20% des rapaces relevés ont été contactés lors du suivi en avril 2020,
- Presque 29% des corvidés et colombidés relevés ont été contactés lors du suivi en avril 2020.

L'étude lors de la migration postnuptiale a quant à elle permis d'observer :

- 17% des oiseaux d'eau relevés ont été contactés lors du suivi en octobre 2020,
- 19% des passereaux relevés ont été contactés lors du suivi en octobre 2020,
- 20% des rapaces relevés ont été contactés lors du suivi en octobre 2020,
- Et 14% des corvidés et colombidés relevés ont été contactés lors du suivi en octobre 2020.

Au total, environ 30% des espèces relevés dans la bibliographie ont pu être identifiées lors du suivi en avril 2020, et 17% lors du suivi en octobre 2020.

La fréquentation du site du Cap Fréhel en période postnuptiale semble être modérée. Les flux journaliers n'ont pas été très importants durant le suivi réalisé en 2020, avec un total de 434 individus appartenant à 28 espèces contactés durant les 6 jours de suivi. Les passages ont été assez diffus sur le site, avec une densité légèrement plus importante sur la côte Nord-Ouest. Les « oiseaux d'eau » (Goéland argenté, Bernache cravant, Guillemot de Troïl etc.) observés sur le site ont été noté principalement au niveau des côtes, en vol ou posés sur les rochers. La quantité de passereaux patrimoniaux en halte sur le site est tout de même à noter (Pipit farlouse, Chardonneret élégant) et des espèces à très fortes valeurs patrimoniales fréquentent également le site à cette période de l'année : le Pingouin torda et le Guillemot de Troïl.

Au vu des différents résultats et analyses, la pointe du Cap Fréhel peut être considérée comme un site d'halte migratoire pour les populations avifaunistiques migratrices présentes dans la région. En effet, les nombreuses observations récoltées et les différents croisements de données ont permis de mettre en exergue une activité avifaunistique fortement représentée par le passage migratoire des passereaux.

La transposition des données récoltées en avril et en octobre 2020 à celles étudiées pour le Cap Fréhel et ses alentours suggère qu'une activité avifaunistique modérée peut être observée lors des migrations pré-

et postnuptiale sur site et aux alentours. Les oiseaux migrateurs sont principalement des passereaux, qui longent les falaises à l'Ouest et au Nord et qui s'arrêtent en halte sur le site. En migration prénuptiale, ils s'éloignent alors vers le large à partir de l'extrémité de la pointe dans une direction majoritairement nord/nord-est.

L'utilisation des deux radars, un en mode vertical, l'autre en mode horizontal a permis d'apporter des premiers éléments sur les altitudes de vol et sur la répartition spatiale des axes de déplacement lors de différentes sessions. Leur exploitation fine nécessite de finaliser l'évaluation des variations de détectabilité en fonction de la distance au radar. Les espèces dont la trajectoire est le plus souvent orientée vers le large sont le Pipit farlouse, l'Hirondelle de fenêtre, le Pinson des arbres, le Chardonneret élégant et la Linotte mélodieuse. Ce sont donc ces espèces de passereaux qui seront le plus probablement au contact du parc de Saint-Brieuc. Toutefois, en période de migration prénuptiale, près de 80% des effectifs de passereaux volent en dessous des pales, évitant ainsi le risque de collision, et cette proportion s'élève à 100% en migration postnuptiale. Les laridés, principalement des Goélands argentés, ainsi que les oiseaux d'eau à valeur patrimoniales (Guillemot de Troïl, Pingouin torda, Fou de Bassan) utilisent plutôt le site de manière diffuse d'Est en Ouest et restent peu éloignés des côtes, en vol ou posés sur les rochers. De plus, seuls 2,4% des oiseaux d'eau ont été observés à hauteur des pales en migration prénuptiale, et aucun en migration postnuptiale.

Les deux cartes suivantes (Figure 25) compilent les observations par radar et les observations de trajectoires lors des semaines de terrain pour les deux périodes. Les fortes densités d'oiseaux au Nord du cap en migration prénuptiale, et dans une moindre mesure à l'Ouest, confirment les trajectoires d'éloignement vers le Nord des passereaux après avoir longé la côte Ouest. En migration postnuptiale, la présence d'oiseaux au large est plus diffuse. La faible activité aux abords des côtes et au-dessus des terres s'explique en partie par des conditions défavorables à la détection (bruit de la végétation, reliefs).

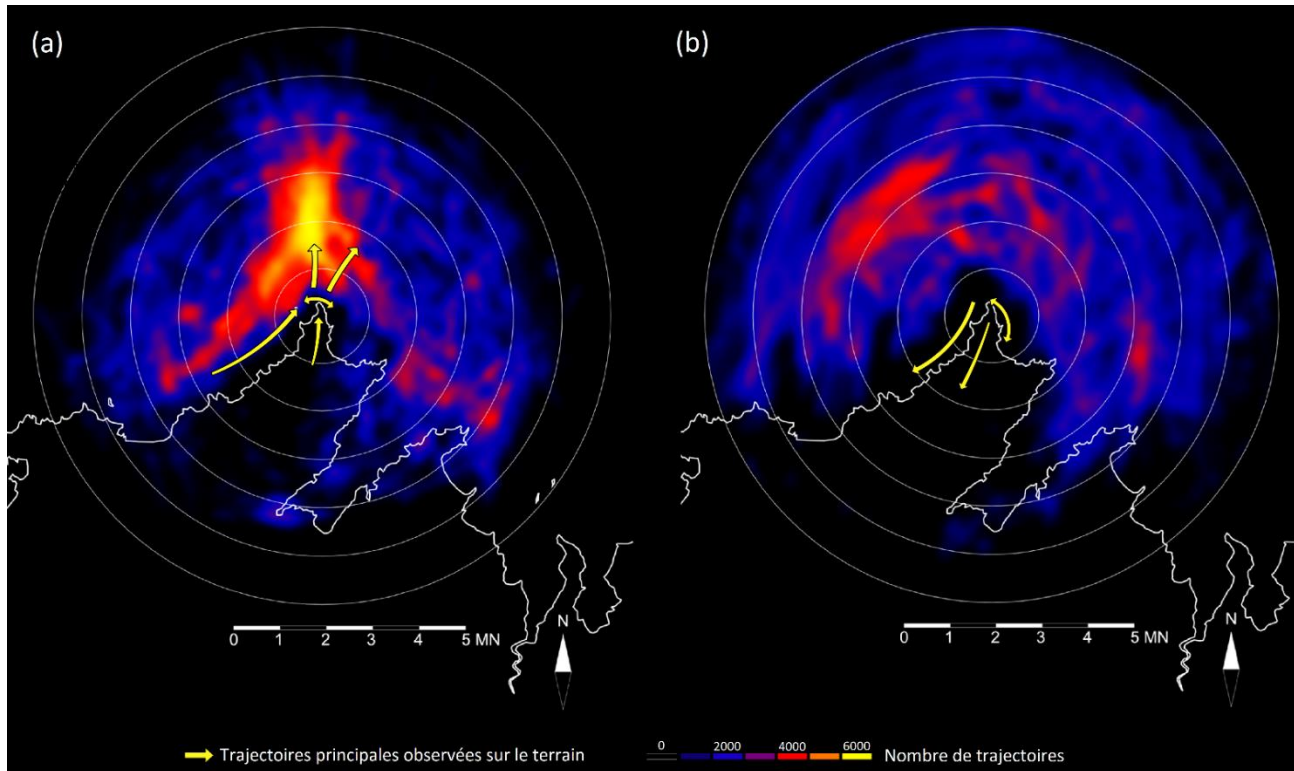


Figure 25 : Compilation des trajectoires détectées au cours de la migration prénuptiale (a) et postnuptiale (b) et des trajectoires observées sur le terrain, données non corrigées par la détectabilité des cibles en fonction de la distance

VI. Bibliographie

- Beaudlet J.M. 2019. *Le Projet éolien en baie de St-Brieuc, les raisons de notre opposition*. Frehel Environnement. Article en ligne (consulté le 04/05/2020) disponible sur : <http://www.frehelenvironnement.fr/le-projet-eolien-en-baie-de-st-brieuc-les-raisons-de-notre-opposition/>
- Barbot M. 2019. *Baie de Saint-Brieuc : l'impact du parc éolien sur la biodiversité*. Environnement et biodiversité en Bretagne. Article en ligne (consulté le 04/05/2020) disponible sur : <http://environnement2019.infocomlannion.fr/2019/09/26/baie-de-saint-brieuc-limpact-du-parc-eolien-sur-la-biodiversite/>
- Bruderer, B. 1997. The study of bird migration by radar part 1: The technical basis. *Naturwissenschaften* 84 : 1–8.
- Bruderer, B., and F. Liechti. 1998. Flight behavior of nocturnally migrating birds in coastal areas: Crossing or coasting. *Journal of Avian Biology* 29 : 499–507
- Black, J. E. 2000. Radar studies of the 1999 spring migration at Brock University: The Buffalo weather radar. Brock Physics Report 2000–2002, Brock University, St.Catharines, Ontario
- Christensen, T. K., Hounisen, J. P., Clausager, I. & Petersen, I. K., 2004: Visual and radar observations of birds in relation to collision risk at the Horns Rev offshore wind farm. Annual status report 2003. - 48 pp.
- Duquet M. 2013. *Ornithos – Revue d'ornithologie de terrain n°20-2*. LPO France. 38 pages.
- Février Y., Callard B., Fortin M. et Nègre I. 2016. Stationnement, transit et dispersion du Puffin des Baléares sur les façades Manche/Mer-du-Nord et Atlantique en 2016. GEOCA et Bretagne-Vivante, Rapport pour l'Agence des Aires Marines Protégées. 61 pages
- Gauthreaux, S. A. Jr., and C. G. Belser. 1999. Reply to "Comments on Display of bird migration on the WSR-88D: patterns and quantification". *Weather and Forecasting* 14 : 1041–1042.
- Harmata A., Leighty G. and O'Neil E. 2000. A Vehicle-Mounted Radar for Dual-Purpose Monitoring of Birds. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)* Vol. 31, No. 3 (Autumn, 2003), pp. 882-886
- Russell K. and Gauthreaux S. 1998. Use of Weather Radar to Characterize Movements of Roosting Purple Martins (1998). Kevin R., Jr. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)* Vol. 26, No. 1 (Spring, 1998), pp. 5-16
- Sturbois A. et Ponsero A. 2018. *Synthèse ornithologique – Phénologie et évolution locale des effectifs – 1970-2018*. Réserve naturelle nationale de la baie de Saint-Brieuc. 106 pages.