RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

OFB
OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITÉ

MIGRATLANE

Caractérisation de l'utilisation de l'arc Atlantique-Nord-Est par les migrateurs terrestres et l'avifaune marine à l'aide de méthodes complémentaires

1er rapport intermédiaire

LOT 4

Suivis par radars ornithologiques et météorologiques

Janvier 2024

Office français de la biodiversité
Pole « mer » de Brest
Service ECUMM
16 quai de la Douane
29229 Brest cedex 2

MIGRATLANE

1er rapport intermédiaire

Livrable 4.6

LOT 4

Suivis par radars ornithologiques et météorologiques

Titulaires du lot

Biotope, Météo France, IRD, Station ornithologique suisse

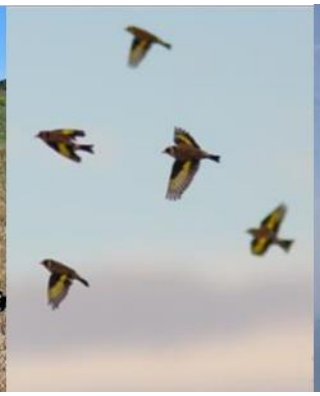
Auteurs

ASSALI Camille[1], DAÏDE Cyprien[1], DELCOURT Vincent[1], DESERT Thibault[2], SCHMID Baptiste[3]

[1] Biotope, Mèze, France

[2] Météo France, Toulouse, France

[3] Vogelwarte, Sempach, Suisse



Partenaires scientifiques et techniques du lot

Citation du document

ASSALI C., DAÏDE C., DELCOURT V., DÉSERT T., SCHMID B. 2024. MIGRATLANE - Caractérisation de l'utilisation de l'arc Atlantique Nord-Est par les migrateurs terrestres et l'avifaune marine à l'aide de méthodes complémentaires : 1er rapport intermédiaire. Lot 4 – Radars ornithologiques et météorologiques. *Rapport pour l'OFB*. 29 PP.

Office français de la biodiversité
Pole « mer » de Brest
Service ECUMM
16 quai de la Douane
29229 Brest cedex 2

SUIVI DU DOCUMENT

Coordinateur du projet	Nina Cudennec Florian Le Bail	Office Français de la Biodiversité (OFB)
Coordinateur scientifique et technique du projet	Yann Planque Antoine Chabrolle	France Énergies Marines (FEM) Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN)
Auteur.e	Camille Assali, Cyprien Daïdé, Vincent Delcourt ; Thibault Désert ; Baptiste Schmid	Biotope Météo France Vogelwarte
Titre du document	1er rapport intermédiaire du lot 4 de MIGRATLANE	
Statut du document	Version finale	
Date de sauvegarde	10/04/2024	
Date de diffusion	10/04/2024	
Version du document	Version finale	
Nom du fichier	20240115_MIGRATLANE_Lot4_L.4.6_Rapport-intermédiaire_(1er)	
Nombre de pages	29	
Niveau de diffusion	Consortium / Gouvernance/ Public	

HISTORIQUE DES CHANGEMENTS

Version	Date	Modifié par	Modifications / Sections
1	15/01/2024	Lot 4	Rédaction
2	10/04/2024	Jehanne Rivet, FEM	Mise à jour du format ; Relecture ; Corrections mineures dans l'ensemble du document

APPROBATION

Version	Date	Approuvé par	Titre
Finale	10/04/2024	Yann Planque, FEM ; Antoine Chabrolle, MNHN/CESCO	Coordinateurs scientifiques
Signature :			
Finale	10/04/2024	Nina Cudennec, OFB ; Florian Le Bail, OFB	Pilotage du projet
Signature :			

Table des matières

Table des matières 5
Table des figures 6
Table des tableaux 7
Rappels sur le programme MIGRATLANE 8
Objectif du rapport intermédiaire 9
Lot 4 Suivis par radar ornithologiques et météorologiques 9
4.1 Consortium du lot 4 9
4.2 Rappel des objectifs généraux du lot 4 10
4.3 Technologies employées (rappel) 10
4.3.1 Technologies et méthodologies employées 10
4.3.1.1 Radars ornithologiques 10
4.3.1.1.1 Détection au sein du faisceau et radar cross section (RCS) 10
4.3.1.1.2 Fréquence de battement d'ailes 11
4.3.1.1.3 Migration Traffic Rate (MTR) 11
4.3.1.1.4 Filtrage du signal 11
4.3.1.1.5 Validation des données 11
4.3.1.2 Radars météorologiques 11
4.3.2 Plan d'échantillonnage 12
4.3.2.1 Radars ornithologiques 12
4.3.2.2 Radars météorologiques 14
4.4 Bilan des premières campagnes 15
4.4.1 Premier déploiement des radars ornithologiques 15
4.4.1.1 Intercalibration des radars 15
4.4.1.2 Installations sur sites 15
4.4.2 Bilan des données acquises 16
4.4.3 Résultats préliminaires 17
4.4.3.1 Baie de Somme 17
4.4.3.1.1 Flux 17
4.4.3.1.2 Directions de vol 18
4.4.3.2 Cotentin 19
4.4.3.2.1 Flux 19
4.4.3.2.2 Directions de vol 20
4.4.3.3 Noirmoutier 21
4.4.3.3.1 Flux 21
4.4.3.3.2 Directions de vol 22
4.4.3.4 Arcachon 23
4.4.3.4.1 Flux 23
4.4.3.4.2 Directions de vol 24
4.4.3.5 Synthèse 24
4.4.4 Radars météorologiques : avancée des travaux SEMAFOR 25
4.4.5 Poursuite des acquisitions par radars ornithologiques 28
4.4.6 Lancement des travaux pour le volet « radars météorologiques » 28
Références bibliographiques 29

Office français de la biodiversité
Pole « mer » de Brest
Service ECUMM
16 quai de la Douane
29229 Brest cedex 2

Table des figures

Figure 1 : Localisation des radars ornithologiques installés au cours de la première année d'acquisition des données du programme MIGRATLANE (à gauche) et photographie d'un radar ornithologique (ici installé en Baie de Somme ; à droite). 13
Figure 2 : carte représentant la couverture des radars météorologiques du réseau ARAMIS superposée aux secteurs prioritaires et optionnels pour l'année 1 d'acquisition de données par radars ornithologiques, soumis à demande d'autorisation d'émission. 14
Figure 3 : Carte des radars météorologiques. Les données provenant des radars en bande S et C seront utilisées. 15
Figure 4 : De gauche à droite : Noirmoutier, le 20/07/2023, le transport du radar par tracteur, depuis le camion jusqu'à son emplacement sur le site d'acquisition ; Cotentin le 22/07/2023, fixation au sol du radar ; Arcachon le 19/07/2023, raccordement électrique du radar. 16
Figure 5 : De gauche à droite, les radars installés : Arcachon ; Noirmoutier ; Cotentin ; Baie de Somme. 16
Figure 6 : Flux (MTR pour *Migration Traffic Rate*: nombre d'oiseaux par heure et par kilomètre) enregistrés sur le site de suivi par radar ornithologique "Baie de Somme" pour la période du 1er août 2023 au 31 décembre 2023. Les flux sont moyennés par jour. Ces résultats préliminaires sont à considérer avec précaution car les données n'ont pas été fiabilisées. 17
Figure 7 : Directions de vol enregistrées sur le site de suivi par radar ornithologique "Baie de Somme" pour la période du 1er août 2023 au 31 décembre 2023. 18
Figure 8 : Flux (MTR pour *Migration Traffic Rate*: nombre d'oiseaux par heure et par kilomètre) enregistrés sur le site de suivi par radar ornithologique "Cotentin" pour la période du 1er août 2023 au 31 décembre 2023. Les flux sont moyennés par jour. Ces résultats préliminaires sont à considérer avec précaution car les données n'ont pas été fiabilisées. 19
Figure 9 : Directions de vol enregistrées sur le site de suivi par radar ornithologique "Cotentin" pour la période du 1er août 2023 au 31 décembre 2023. 20
Figure 10 : Flux (MTR pour *Migration Traffic Rate*: nombre d'oiseaux par heure et par kilomètre) enregistrés sur le site de suivi par radar ornithologique "Noirmoutier" pour la période du 1er août 2023 au 31 décembre 2023. Les flux sont moyennés par jour. Ces résultats préliminaires sont à considérer avec précaution car les données n'ont pas été fiabilisées. 21
Figure 11 : Directions de vol enregistrées sur le site de suivi par radar ornithologique "Noirmoutier" pour la période du 1er août 2023 au 31 décembre 2023. 22
Figure 12 : Flux (MTR pour *Migration Traffic Rate*: nombre d'oiseaux par heure et par kilomètre) enregistrés sur le site de suivi par radar ornithologique "Arcachon" pour la période du 1er août 2023 au 31 décembre 2023. Les flux sont moyennés par jour. Ces résultats préliminaires sont à considérer avec précaution car les données n'ont pas été fiabilisées. 23
Figure 13 : Directions de vol enregistrées sur le site de suivi par radar ornithologique "Arcachon" pour la période du 1er août 2023 au 31 décembre 2023. 24
Figure 14 : Synthèse des directions de vol sur les différents sites d'acquisition. 25
Figure 15 : Visualisation des flux d'oiseaux (MTR pour Migration Traffic Rate, soit le nombre d'individus par heure et par kilomètre) dans la colonne de 35km de rayon autour des radars météorologiques du réseau métropolitain (résultats du programme SEMAFOR). 26
Figure 16 : Prédiction des flux de migration aviaire (exprimés en MTR pour Migration Traffic Rate, soit en nombre d'individus par heure et par kilomètre) pour la nuit du 12 mars 2024, à partir des prévisions météorologiques faites à 12h le jour même et du contexte (date, position). 27
Figure 16 : Visualisation de champs météorologiques pour l'interprétation des densités et déplacements. 27

Table des tableaux

Tableau 1 : Secteurs pressentis pour l'année 1 d'acquisition de données par radars ornithologiques. 13
Tableau 2: Dates d'arrêt et remise en route des acquisitions de données radars sur le site en Baie de Somme. 17

Office français de la biodiversité
Pole « mer » de Brest
Service ECUMM
16 quai de la Douane
29229 Brest cedex 2

Rappels sur le programme MIGRATLANE

La mise en place du programme MIGRATLANE par l'OFB en 2022 repose sur l'identification de très fortes lacunes de connaissances sur l'utilisation de l'espace en mer par l'avifaune et les chiroptères sur l'Arc Atlantique Nord-Est français, c'est-à-dire au niveau des sous-régions marines Manche-mer du Nord, mers Celtiques et golfe de Gascogne. Ces lacunes de connaissances concernent à la fois l'avifaune terrestre migratrice (cf. passages en mer notamment pendant les périodes de migration prénuptiale puis postnuptiale), l'avifaune marine (cf. zones fonctionnelles en mer) et les chiroptères (cf. utilisation de l'espace marin). Le programme MIGRATLANE se déroule de 2023 à 2027, et l'acquisition des données est réalisée de 2023 à 2026.

Le secteur maritime de l'Arc Atlantique Nord-Est est marqué par de multiples projets d'usage, dont des projets de développement de parcs éoliens en mer. Ainsi, l'état français prévoit, dans le cadre de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), d'arriver à une puissance installée d'éoliennes en mer (posé et flottant) d'environ 5 GW en 2028 et d'environ 40 GW à l'horizon 2050. Il est ainsi apparu essentiel d'acquérir des connaissances permettant de caractériser les flux migratoires et les fonctionnalités des zones en mer pour l'avifaune et les chiroptères, à l'échelle de l'Arc Atlantique Nord-Est, que ce soit pour des espèces résidentes, de passage, présentes au cours d'une partie du cycle biologique annuel ou ponctuellement présentes.

L'OFB a ainsi lancé en 2022 le programme MIGRATLANE qui vise à acquérir des connaissances de base sur les migrations, les comportements de vol et les zones fonctionnelles en mer de l'avifaune terrestre migratrice, l'avifaune marine et les chiroptères, en considérant leurs interactions potentielles avec les projets de parcs éoliens. Une hiérarchisation des enjeux a été réalisée par un groupe d'experts rassemblés par l'OFB, afin d'identifier les questions scientifiques, les moyens et approches à prioriser pour atteindre cet objectif d'acquisition de connaissances. Ces enjeux de connaissance sont :

- Enjeux de connaissance prioritaires : les voies de migration, le flux des migrateurs dans le golfe de Gascogne et la Manche, les zones fonctionnelles des espèces marines, les trajets non migratoires des espèces marines.
- Enjeux de connaissance importants : la phénologie des migrations en mer, les caractéristiques de vol des oiseaux terrestres et marins en mer, la distribution spatiale des espèces marines.
- Enjeux de connaissance secondaires : les trajets non migratoires des espèces terrestres, les caractéristiques de vol des chiroptères en mer.

Ce programme apportera des éléments de connaissance sur la faune volante terrestre et marine avec des données inédites sur la spatio-temporalité des déplacements locaux et les migrations des espèces au niveau de l'Arc Atlantique Nord-Est. L'acquisition de ces connaissances vise alors à éclairer la mise en œuvre des politiques publiques de préservation de ces espèces et de leurs habitats naturels, et ainsi à mieux évaluer et réguler les interactions de ces espèces avec les activités anthropiques.

Le programme s'articule autour de six lots, mettant en œuvre un ensemble de techniques et de méthodes complémentaires afin d'acquérir des connaissances sur l'avifaune et les chiroptères :

- **Lot n°1** : Coordination, synthèse et dissémination des résultats du programme.
- **Lot n°2** : Télémétrie sur les migrateurs terrestres et oiseaux marins.
- **Lot n°3** : Suivis acoustiques ornithologiques et à ultrasons, observations visuelles (sur des stations à la côte ou des points fixes en mer, sur des navires d'opportunité).
- **Lot n°4** : Radars installés à terre, à la côte ou en mer (radars ornithologiques dédiés ou exploitation de radars météorologiques).
- **Lot n°5** : Campagnes aériennes en mer (par observations visuelles et/ou digitales).
- **Lot n°6** : Application de méthodes d'analyse multimodale des différentes données produites dans le cadre du programme et issues d'autres projets.

Le programme a officiellement commencé le 15 novembre 2022, suite à la notification des lots du marché de MIGRATLANE, et la date de début de la « mise en œuvre des actions du programme » a été actée au 15 janvier 2023. Le lot 6 a quant à lui commencé en décalé par rapport aux autres lots du programme (le 15 juillet 2023). La clôture du projet est prévue pour avril 2027.

Objectif du rapport intermédiaire

Ce document constitue le premier rapport intermédiaire d'avancement du lot 4 « Suivis par radar ornithologiques et météorologiques » du programme MIGRATLANE. Il vise à décrire l'avancement des travaux réalisés lors de la première partie de la première année d'acquisition des données (2023) dans le cadre de ce lot. Ce rapport présente ainsi :

- Un bref rappel des technologies et méthodologies employées dans le cadre de ce lot ; *des détails complémentaires sont plus amplement décrits dans le rapport de lancement du programme (cf. livrable L1.3) et dans la synthèse bibliographique dédiée à ce lot (cf. livrable L4.1) ;*
- Le plan d'échantillonnage ;
- Le bilan des travaux réalisés ;
- Des informations qualitatives et descriptives sur les premières données acquises et les résultats préliminaires obtenus à cette date ;
- Des informations sur les prochains objectifs du lot (suite des acquisitions et analyse des données).

Ce rapport intermédiaire se focalise essentiellement sur le bilan des premières campagnes de terrain. Les données et résultats présentés ici sont préliminaires à ce stade, et seront plus amplement décrits dans les futurs livrables (dont le premier rapport de l'analyse des données ; livrable L4.8).

Lot 4 Suivis par radar ornithologiques et météorologiques

4.1 Consortium du lot 4

Les deux structures co-titulaires du lot « Suivis par radar » du programme MIGRATLANE sont Biotope et Météo-France, accompagnées de deux sous-traitants : l'Institut Ornithologique Suisse de Sempach et l'UMR Marbec (IRD).

Les personnes en charge du lot 4 MIGRATLANE sont Camille Assali et Vincent Delcourt de Biotope.

Les personnes référentes des autres structures sont :

- Thibault Desert de Météo France

- Baptiste Schmid de l'Institut Ornithologique Suisse

- Yann Tremblay de l'UMR Marbec.

4.2 Rappel des objectifs généraux du lot 4

Les objectifs du lot 4 sont d'étudier la migration des oiseaux sur de longues séries temporelles, à deux échelles spatiales : une échelle fine avec les radars ornithologiques, et une large échelle avec les radars météorologiques.

Pour rappel, les radars ornithologiques déployés à la côte permettent d'acquérir des connaissances par groupe d'espèces et notamment des données :

- d'effectifs dans la zone couverte par les instruments ;
- de hauteurs, directions et vitesses de vol ;
- de densité de passage à travers l'aire d'étude, en fonction de l'heure du jour et de la nuit ;
- de variabilité saisonnière et nycthémérale de ces paramètres.

Les radars météorologiques offrent quant à eux une couverture de l'ensemble du territoire métropolitain, et permettent d'étudier les flux d'oiseaux à une échelle macroscopique. L'analyse des détections en fonction du temps permettra de décrire l'évolution temporelle de la répartition des oiseaux sur le territoire terrestre et marin couvert. Les densités, les altitudes de vol, les directions et les vitesses seront étudiées pour en extraire les tendances à grande échelle ainsi que les routes migratoires privilégiées à des périodes données.

Les données brutes des radars météo sont utilisées en parallèle des radars ornithologiques, pour caractériser et quantifier les flux et voies de déplacements des oiseaux, en continuité du projet SEMAFOR (2022-2024).

4.3 Technologies employées (rappel)

4.3.1 Technologies et méthodologies employées

4.3.1.1 Radars ornithologiques

Les radars ornithologiques permettent de quantifier les flux migratoires diurnes et nocturnes de l'avifaune. Ces radars renseignent entre autres la taille des cibles et leur fréquence de battements d'ailes, permettant ainsi leur classification en grands groupes (insectes, classes d'oiseaux d'eau, etc.) et leur dénombrement précis dans le volume de détection du radar. Le volume de détection est limité (1000 à 2000 m d'altitude), mais les données acquises dans ce volume constituent une référence pouvant servir à une comparaison entre sites, à une analyse précise de la phénologie, ou encore à la calibration d'autres méthodes.

Les méthodologies employées pour le traitement des données acquises par radars ornithologiques sont décrites en détail dans le livrable L4.1 (Synthèse bibliographique du lot 4).

Les grands principes de la méthode déployée pour traiter les données obtenues par radar ornithologique (BirdScan MR1), présentés ci-après, sont tirés de la publication de Schmid et al. 2019. Pour rappel, la technologie radar repose sur l'émission d'ondes électromagnétiques se propageant dans un faisceau en trois dimensions le long d'un axe principal. La forme et la dimension du faisceau définissent le volume d'air scanné par le radar. En plus des caractéristiques propres au système radar déployé, l'échelle de détection d'une cible -et par conséquent le volume scanné- dépend de la taille de l'objet et de ses propriétés intrinsèques à refléter les ondes électromagnétiques (i.e. les grands objets reflétant de manière importante les ondes sont détectés (1) plus loin et (2) à un angle à l'axe principal du faisceau plus important que les petits objets).

4.3.1.1.1 Détection au sein du faisceau et radar cross section (RCS)

La perte d'énergie en fonction de la distance au radar relève d'une équation connue. Ainsi, la taille d'un objet peut être estimée à partir de sa réflectivité appelée RCS (radar cross section). Cette RCS est une valeur réelle si l'objet est détecté au centre du faisceau, sinon elle est considérée comme une valeur estimée. La RCS permet de corriger l'effet de la perte d'énergie avec la distance au radar.

La puissance de l'écho diminue aussi lorsque l'angle par rapport à l'axe principal du faisceau augmente. Les cibles scannées en bordure de faisceau apparaissent donc plus petites que si elles avaient été détectées au centre du faisceau. Les RCS apparentes sont donc à considérer comme une valeur *a minima* des RCS réelles. Le volume scanné pour un objet de RCS donnée est ainsi défini en fonction de sa distance de détection et de la RCS spécifique liée à la largeur angulaire du faisceau.

4.3.1.1.2 Fréquence de battement d'ailes

La fréquence de battement d'ailes des oiseaux est fortement corrélée à leur taille (les oiseaux les plus gros battant généralement plus lentement des ailes, e.g. Bruderer et al. 2010). Au sein du signal radar, la fréquence de battement d'ailes d'une cible peut être estimée à partir de la variation de son intensité au cours du temps (signature de l'écho). Ainsi, la taille d'un oiseau peut aussi être estimée à partir de sa fréquence de battement d'ailes, indépendamment de la RCS apparente. En associant la fréquence de battement d'ailes à la RCS, le volume scanné spécifique par type d'oiseaux est estimé pour permettre une correction et une quantification précise des flux.

4.3.1.1.3 Migration Traffic Rate (MTR)

Le MTR est une mesure standard des mouvements d'oiseaux qui correspond au nombre d'oiseaux traversant un transect virtuel d'un kilomètre pendant une heure. Le MTR prend ainsi en compte la RCS et la variation du volume scanné avec la distance. Pour un objet de RCS donnée, on peut estimer la largeur du faisceau à sa distance de détection. Le rapport entre 1 km de transect et la largeur de faisceau est utilisé comme facteur de correction pour calculer les facteurs MTR de chaque cible. Ces facteurs MTR sont sommés pendant une période donnée et rapportés à l'heure (proportion).

4.3.1.1.4 Filtrage du signal

La sensibilité du radar est forte à proximité et diminue lorsque la distance au radar augmente. Pour écarter les échos parasites des analyses, un premier filtre supprimant les cibles d'intensité très faible est appliqué. Un second filtre (STC, pour Sensitivity Time Control), dépendant de la distance, permet quant à lui de supprimer les petites cibles proches qui ne sont pas des oiseaux.

4.3.1.1.5 Validation des données

Une validation des données par vérification de l'intégralité des images radars est nécessaire pour écarter les données biaisées par des problèmes techniques ou météorologiques. Une expertise visuelle des images radar agrégées par 5 minutes a ainsi été réalisée afin d'écarter ces potentielles erreurs. Ce balayage complet des images permet également de notifier les échos et évènements inhabituels.

4.3.1.2 Radars météorologiques

Pour le volet « radar météorologique », les données provenant de 25 radars météorologiques (bandes S et C) opérés par Météo-France seront utilisées dans l'étude, permettant de couvrir une grande partie du territoire français et de la façade Atlantique. Pour les besoins du projet, une mosaïque spécifique à la façade Atlantique sera générée pour servir d'outil de visualisation du flux spatiaux et temporels des oiseaux à grande échelle.

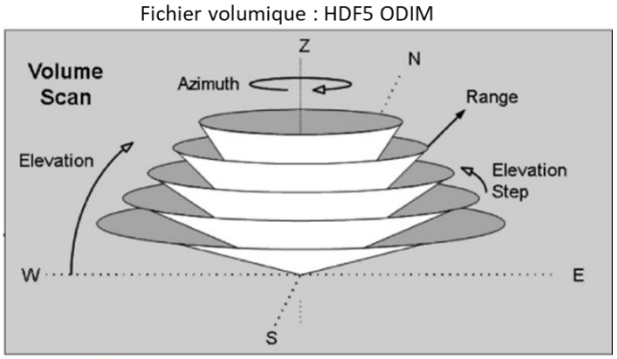
Les méthodologies employées pour le traitement des données acquises par radars météorologiques sont décrites en détail dans le livrable L4.1 (Synthèse bibliographique du lot 4).

La chaîne de traitement des données est opérée sur les données toutes les 15 minutes, selon le déroulé suivant :

1. Réception des données brutes des radars météorologiques toutes les 5min

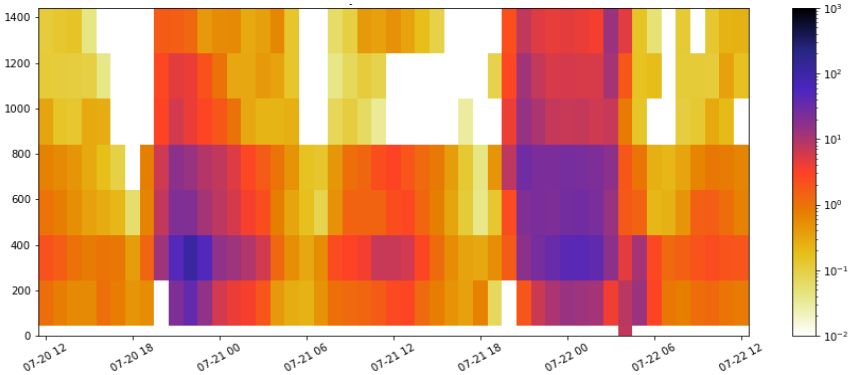
2. Génération des fichiers volumiques : application de traitements et corrections sur les moments radar, et classification des échos (filtrage de la pluie et des échos de sol)

Fichier volumique : HDF5 ODIM



Source : Selex

3. Estimation d'un profil de densité et vitesse (flux) d'oiseaux dans un rayon de 35km du radar



4.3.2 Plan d'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage est décrit en détail dans le rapport de lancement du programme (L1.3). Les éléments ci-dessous sont mentionnés pour rappel.

4.3.2.1 Radars ornithologiques

Au cours du projet, le déploiement des radars est planifié de la façon suivante :

- Un radar sur le même site pendant 3 ans sur la façade atlantique
- Un radar déplacé chaque année sur la façade atlantique
- Un radar sur le même site pendant 3 ans sur la façade Manche
- Un radar déplacé chaque année sur la façade Manche.

Fin juillet 2023, les 4 radars ont été installés avec succès sur les sites suivants : bassin d'Arcachon (19/07/2023), île de Noirmoutier (20/07/2023), Nord Cotentin (22/07/2023) et Baie de Somme (24/07/2023 ; Figure 1).

Figure 1 : Localisation des radars ornithologiques installés au cours de la première année d'acquisition des données du programme MIGRATLANE (à gauche) et photographie d'un radar ornithologique (ici installé en Baie de Somme ; à droite).

Le déploiement de 4 radars ornithologiques en façade Atlantique et Manche – Mer du Nord a nécessité une demande d'autorisation d'émission, sur plusieurs secteurs pré-ciblés en coordination avec les partenaires des lots 3 et 6 (Tableau 1). Pour l'année 1 de l'acquisition de données, les clés de décision et de priorisation ont été les suivantes :

- Le secteur doit être couvert par un radar météorologique opéré par Météo France, et à proximité de celui-ci ;
- Le secteur est à proximité d'un ou plusieurs sites de suivi historique (visuel ou acoustique) ;
- L'ensemble des secteurs offre une bonne couverture spatiale des deux façades maritimes Manche/Mer du Nord et Atlantique ;

Tableau 1 : Secteurs pressentis pour l'année 1 d'acquisition de données par radars ornithologiques.

Façade maritime	**Secteur**	**Priorisation (année 1)**	**Radar météorologique couvrant le secteur (MF : radar opéré par Météo France)**	**Exemples de suivis visuels ou acoustiques historiques à proximité**
Manche / Mer du Nord	Baie de Somme	Prioritaire	Abbeville (MF)	Pointe du Hourdel, Banc de l'Illette, Bois de Cise
Manche / Mer du Nord	Cotentin	Prioritaire	Jersey	Cap de la Hague, Phares du Cap Levi et de Gatteville
Manche / Mer du Nord	Talbert/Saint-Brieuc	Optionnel	Jersey	La Cotentin, Réserve Naturelle des Sept îles
Atlantique	Groix/Belle-Île	Optionnel	/	Île de Groix, Belle-Île
Atlantique	Yeu/Noirmoutier	Prioritaire	Treillières (MF)	Île du Pilier, Île d'Yeu
Atlantique	Arcachon	Prioritaire	Bordeaux (MF)	Point de Grave, Pointe du Cap Ferret

Office français de la biodiversité
Pole « mer » de Brest
Service ECUMM
16 quai de la Douane
29229 Brest cedex 2

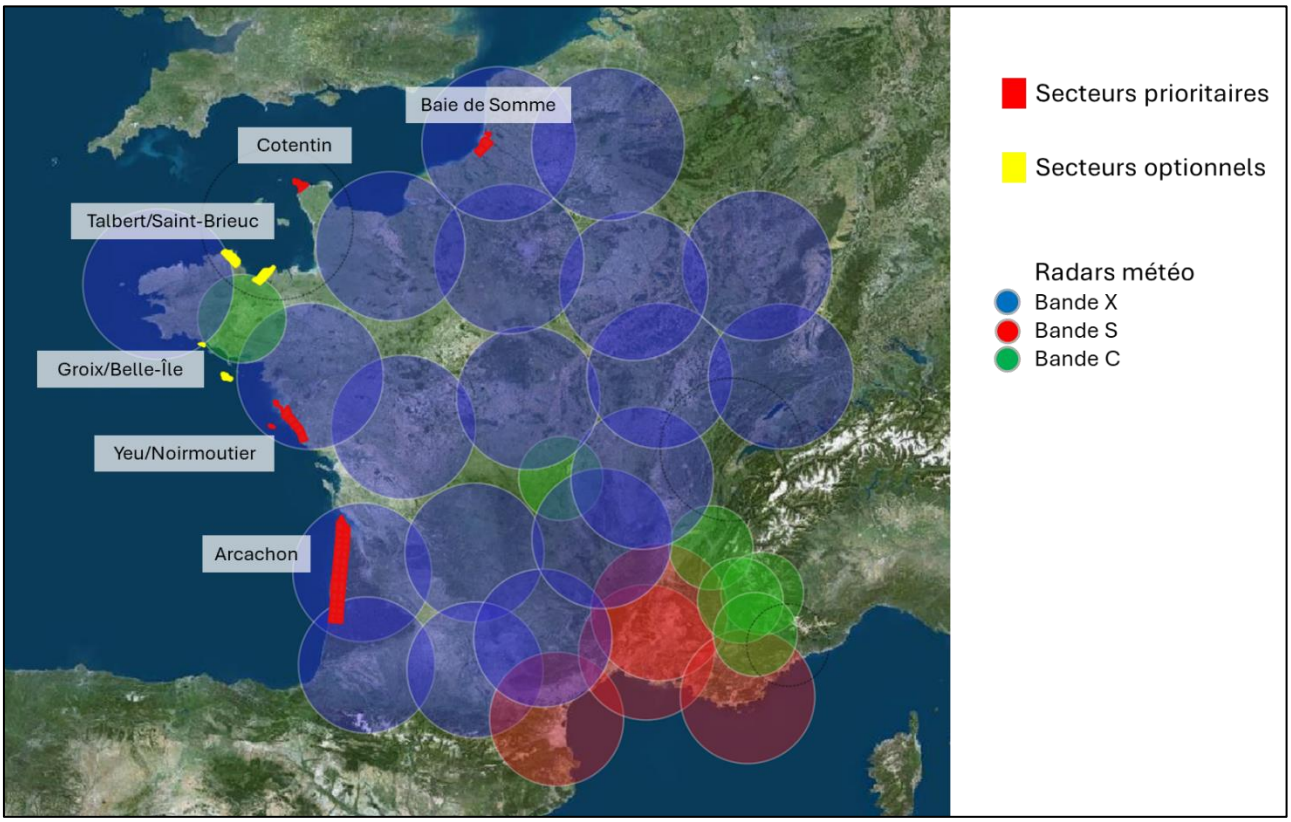


Figure 2 : carte représentant la couverture des radars météorologiques du réseau ARAMIS superposée aux secteurs prioritaires et optionnels pour l'année 1 d'acquisition de données par radars ornithologiques, soumis à demande d'autorisation d'émission.

Les autorisations d'émission, conditionnant (à fine échelle) le plan d'échantillonnage, ont été reçues le **14/06/2023** et mises à jour le **19/07/2023**. Plusieurs sous-secteurs ont été autorisés au sein des secteurs prioritaires soumis. La recherche de sites de suivi par radar ornithologique a ainsi été menée au sein des secteurs **Baie de Somme**, **Cotentin**, **Noirmoutier**, **Arcachon.**

A plus fine échelle, les sites accueillant les radars ont été choisis selon les critères suivants :

- Acceptation par les propriétaires ;
- Accessibilité du site (transport de matériel) ;
- Sécurisation du site (accès, discrétion, etc.) ;
- Possibilité d'une alimentation électrique en continu ;
- Couverture réseau suffisante (surveillance à distance et transfert des données acquises).

4.3.2.2 Radars météorologiques

Les mesures sont réalisées en continu sur l'ensemble du territoire et, en 2024, des visualisations seront disponibles toutes les 5 minutes pendant l'ensemble de l'année (24h/24, 7j/7) sous condition de la disponibilité des radars individuels. Pour les périodes antérieures à l'implication de Météo-France dans le projet (année 2023), des rejeux seront réalisés pour assurer une continuité des données sur l'ensemble de la période du projet.

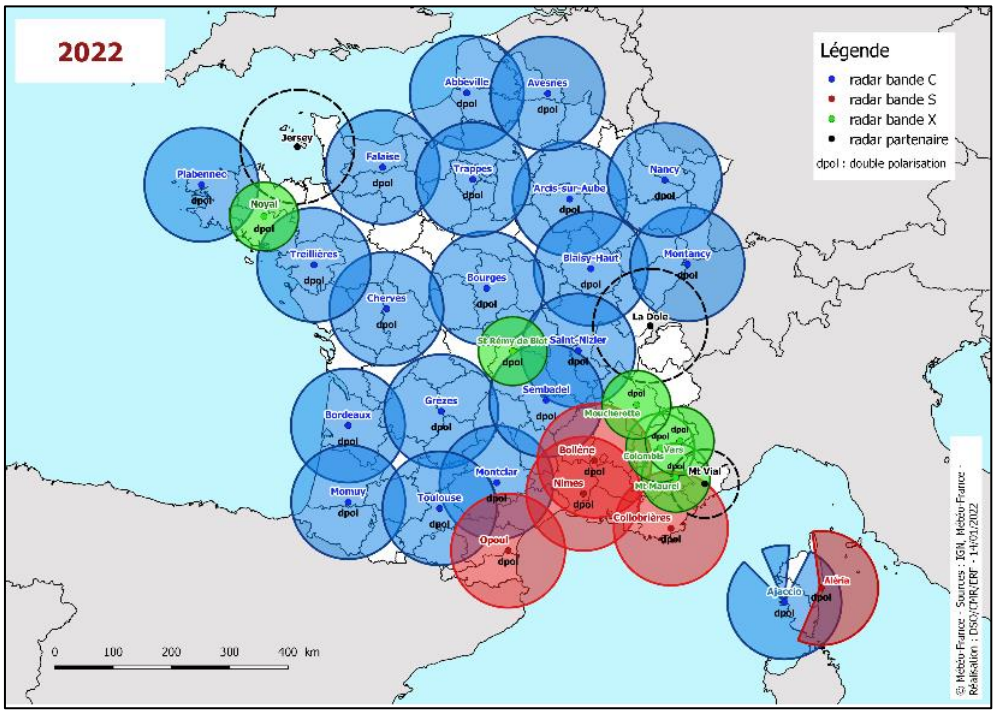


Figure 3 : Carte des radars météorologiques. Les données provenant des radars en bande S et C seront utilisées.

4.4 Bilan des premières campagnes

4.4.1 Premier déploiement des radars ornithologiques

4.4.1.1 Intercalibration des radars

L'intercalibration des radars ornithologiques est requise pour assurer la production de résultats quantitatifs fiables, comparables et reproductibles. Ainsi, les 6 radars BirdScan MR1 déployés à la côte dans le cadre de suivis ornithologiques au sein des programmes concomitants MIGRATLANE (4 radars ; façades atlantique et Manche-Mer du Nord) et MIGRALION (2 radars ; Golfe du Lion) ont été intercalibrés du 11/07/2023 au 18/07/2023.

Depuis lors, l'ensemble de la flotte radar déployée au sein des projets MIGRALION et MIGRATLANE produit des données homogènes et comparables entre elles.

4.4.1.2 Installations sur sites

Une fois calibrés, les différents radars ont été installés sur les 4 sites de suivi.

L'installation sur site comprend les étapes suivantes : transport du matériel, installation du radar et fixation au sol, raccordement électrique, configuration de la communication réseau, test et paramétrage de l'acquisition de données.

Figure 4 : De gauche à droite : Noirmoutier, le 20/07/2023, le transport du radar par tracteur, depuis le camion jusqu'à son emplacement sur le site d'acquisition ; Cotentin le 22/07/2023, fixation au sol du radar ; Arcachon le 19/07/2023, raccordement électrique du radar.

Figure 5 : De gauche à droite, les radars installés : Arcachon ; Noirmoutier ; Cotentin ; Baie de Somme.

Les acquisitions de données pour les 4 radars ont ainsi débuté au **1er août 2023.**

4.4.2 Bilan des données acquises

Le bilan de l'acquisition de données depuis la mise en fonctionnement des 4 radars ornithologiques (1er août 2023) est très positif, et ce, malgré les tempêtes consécutives d'automne qui ont exposé le matériel à de fortes intempéries.

A la date de la rédaction de ce premier rapport intermédiaire, les sites Arcachon, Noirmoutier et Cotentin relèvent 100% de disponibilité des données, soit 4000h d'acquisition par radar. Le site en Baie de Somme relève 97% de disponibilité des données. Cette très faible perte est liée à des coupures temporaires de l'alimentation électrique dues aux conditions météorologiques locales, ce qui a occasionné l'arrêt du radar pendant quelques heures les 2 août et 23 août, ainsi que du 6 au 8 octobre puis du 2 au 4 décembre. Les ruptures d'acquisitions de données sont précisées dans le tableau ci-après.

Tableau 2: Dates d'arrêt et remise en route des acquisitions de données radars sur le site en Baie de Somme.

Date d'arrêt	Heure d'arrêt	Date de remise en route	Heure de remise en route
02/08/2023	15:00	03/08/2023	07:00
23/08/2023	18:35	24/08/2023	07:25
06/10/2023	08:55	09/10/2023	09:25
02/12/2023	00:30	04/12/2023	11:15

En l'attente d'une solution de stockage des données en ligne, les données sont archivées en plusieurs exemplaires sur disque dur.

4.4.3 Résultats préliminaires

4.4.3.1 Baie de Somme

4.4.3.1.1 Flux

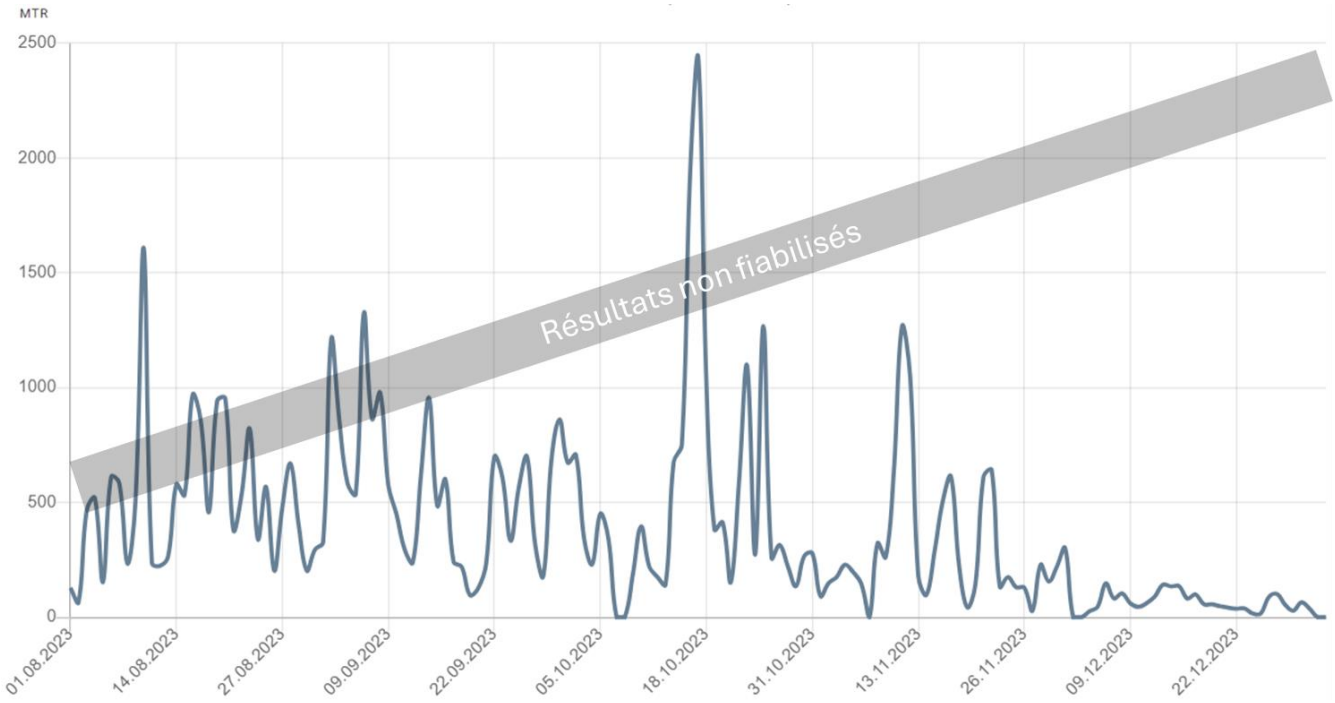


Figure 6 : Flux (MTR pour *Migration Traffic Rate*: nombre d'oiseaux par heure et par kilomètre) enregistrés sur le site de suivi par radar ornithologique "Baie de Somme" pour la période du 1er août 2023 au 31 décembre 2023. Les flux sont moyennés par jour. Ces résultats préliminaires sont à considérer avec précaution car les données n'ont pas été fiabilisées.

Office français de la biodiversité
Pole « mer » de Brest
Service ECUMM
16 quai de la Douane
29229 Brest cedex 2

4.4.3.1.2 Directions de vol

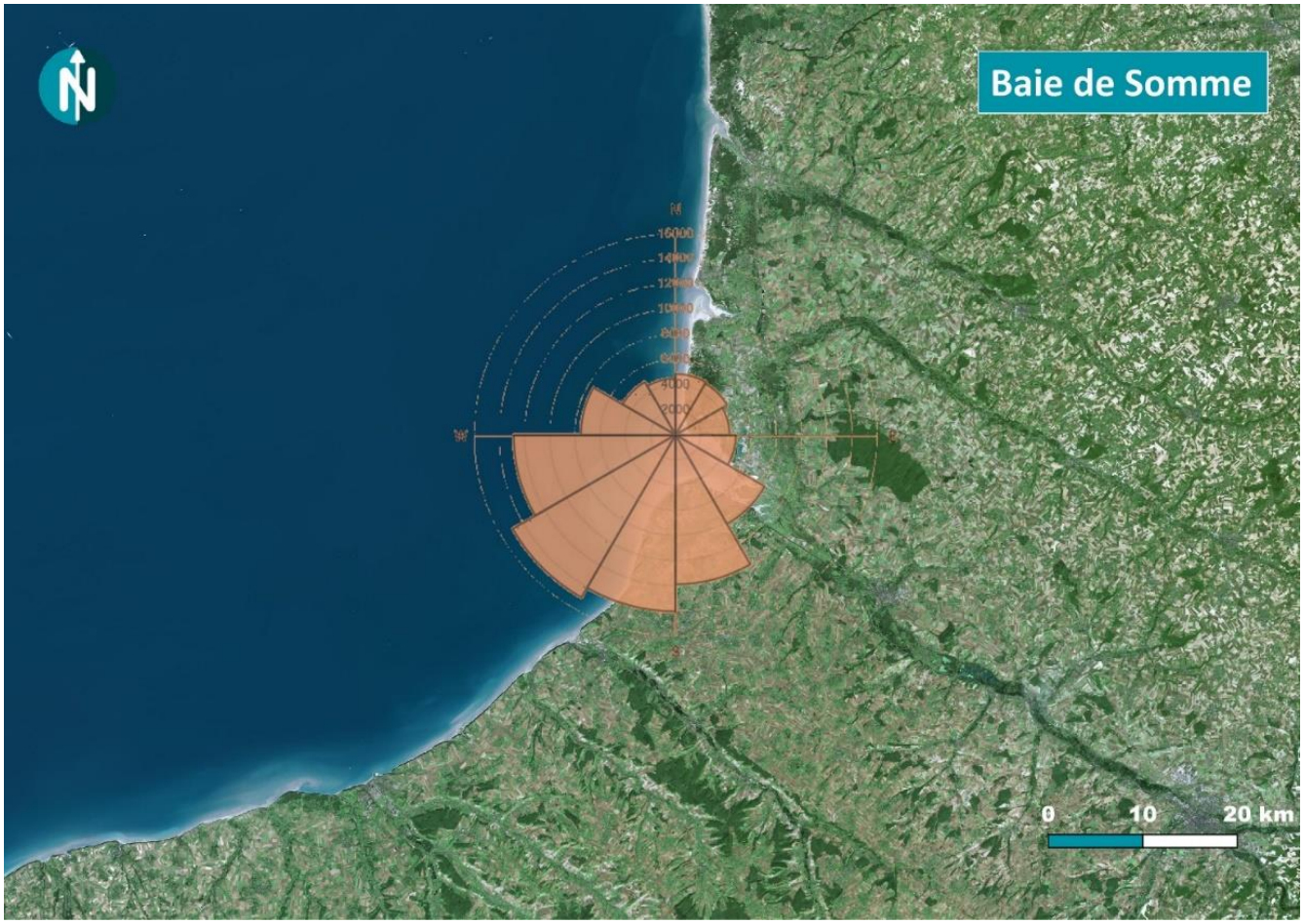


Figure 7 : Directions de vol enregistrées sur le site de suivi par radar ornithologique "Baie de Somme" pour la période du 1er août 2023 au 31 décembre 2023.

4.4.3.2 Cotentin

4.4.3.2.1 Flux

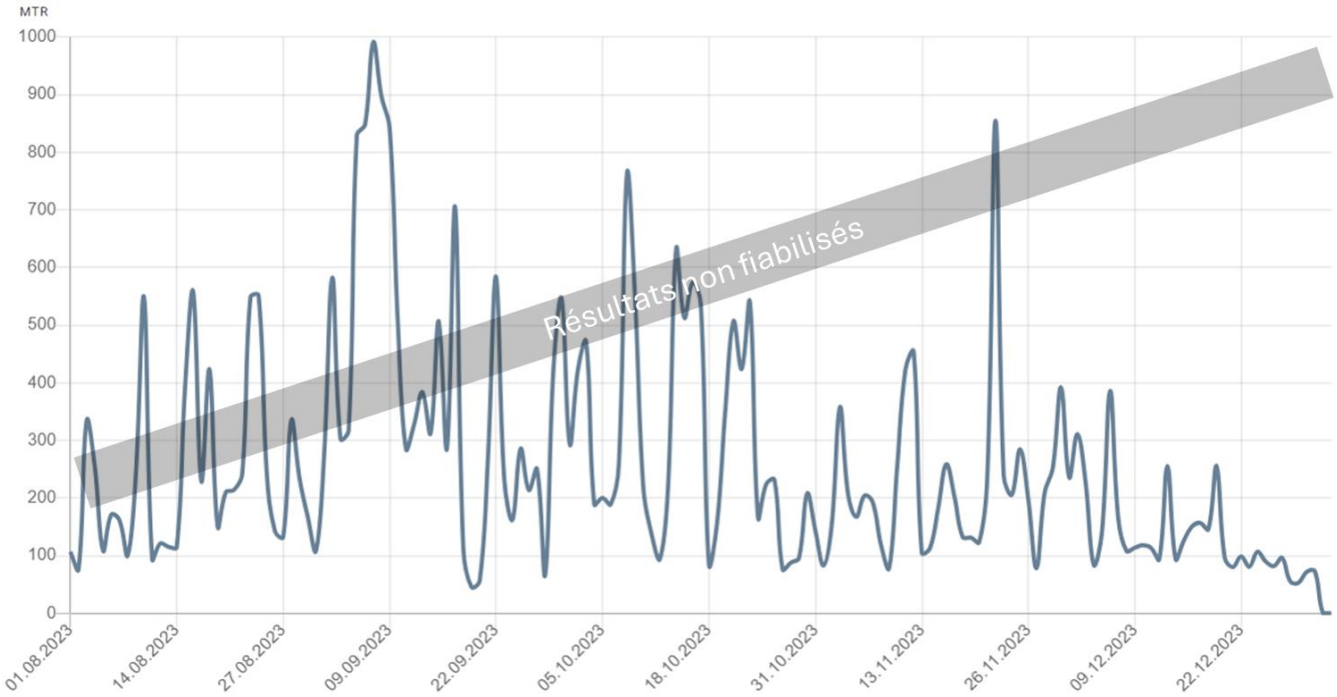


Figure 8 : Flux (MTR pour *Migration Traffic Rate*: nombre d'oiseaux par heure et par kilomètre) enregistrés sur le site de suivi par radar ornithologique "Cotentin" pour la période du 1er août 2023 au 31 décembre 2023. Les flux sont moyennés par jour. Ces résultats préliminaires sont à considérer avec précaution car les données n'ont pas été fiabilisées.

Office français de la biodiversité
Pole « mer » de Brest
Service ECUMM
16 quai de la Douane
29229 Brest cedex 2

4.4.3.2.2 Directions de vol

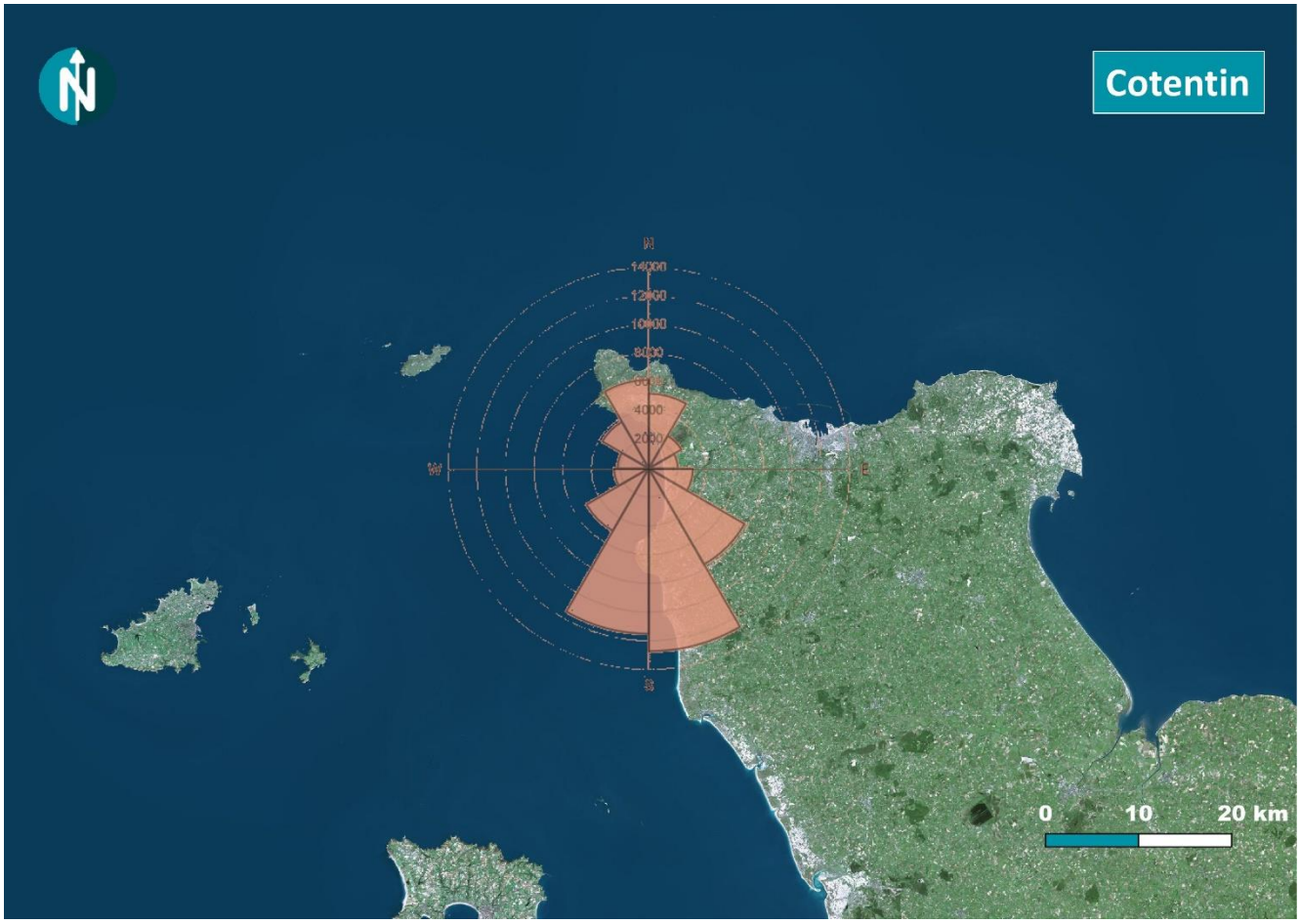


Figure 9 : Directions de vol enregistrées sur le site de suivi par radar ornithologique "Cotentin" pour la période du 1er août 2023 au 31 décembre 2023.

Office français de la biodiversité
Pole « mer » de Brest
Service ECUMM
16 quai de la Douane
29229 Brest cedex 2

4.4.3.3 Noirmoutier

4.4.3.3.1 Flux

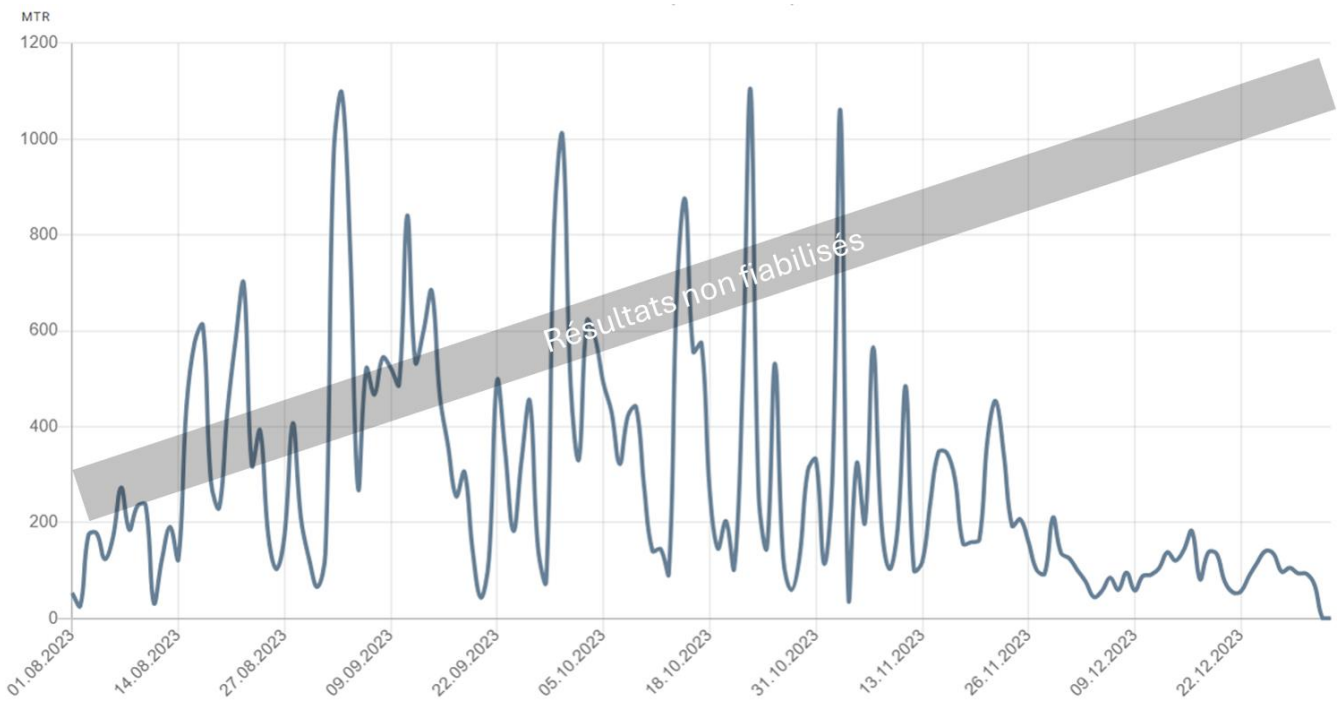


Figure 10 : Flux (MTR pour *Migration Traffic Rate*: nombre d'oiseaux par heure et par kilomètre) enregistrés sur le site de suivi par radar ornithologique "Noirmoutier" pour la période du 1er août 2023 au 31 décembre 2023. Les flux sont moyennés par jour. Ces résultats préliminaires sont à considérer avec précaution car les données n'ont pas été fiabilisées.

Office français de la biodiversité
Pole « mer » de Brest
Service ECUMM
16 quai de la Douane
29229 Brest cedex 2

4.4.3.3.2 Directions de vol

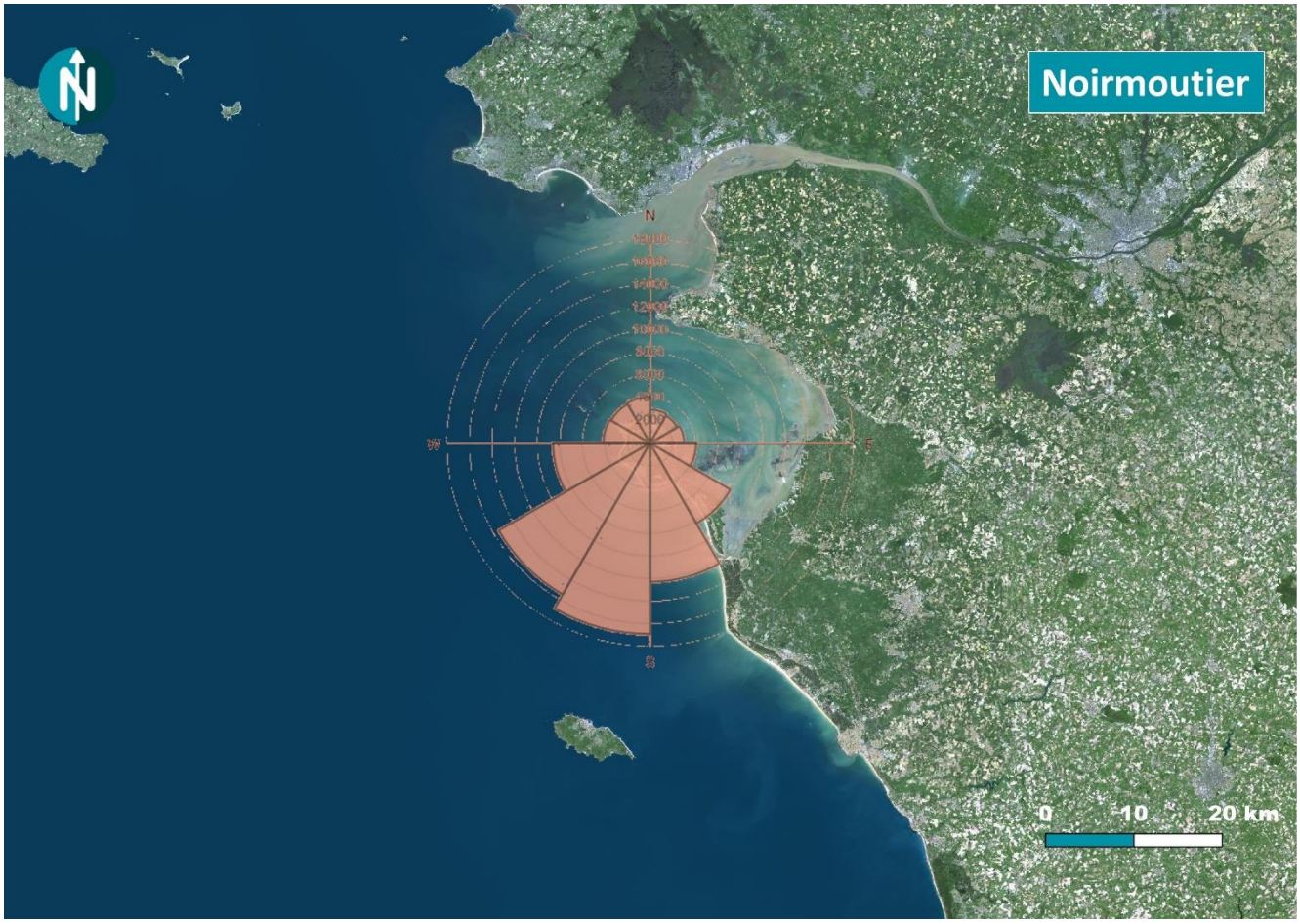


Figure 11 : Directions de vol enregistrées sur le site de suivi par radar ornithologique "Noirmoutier" pour la période du 1er août 2023 au 31 décembre 2023.

4.4.3.4 Arcachon

4.4.3.4.1 Flux

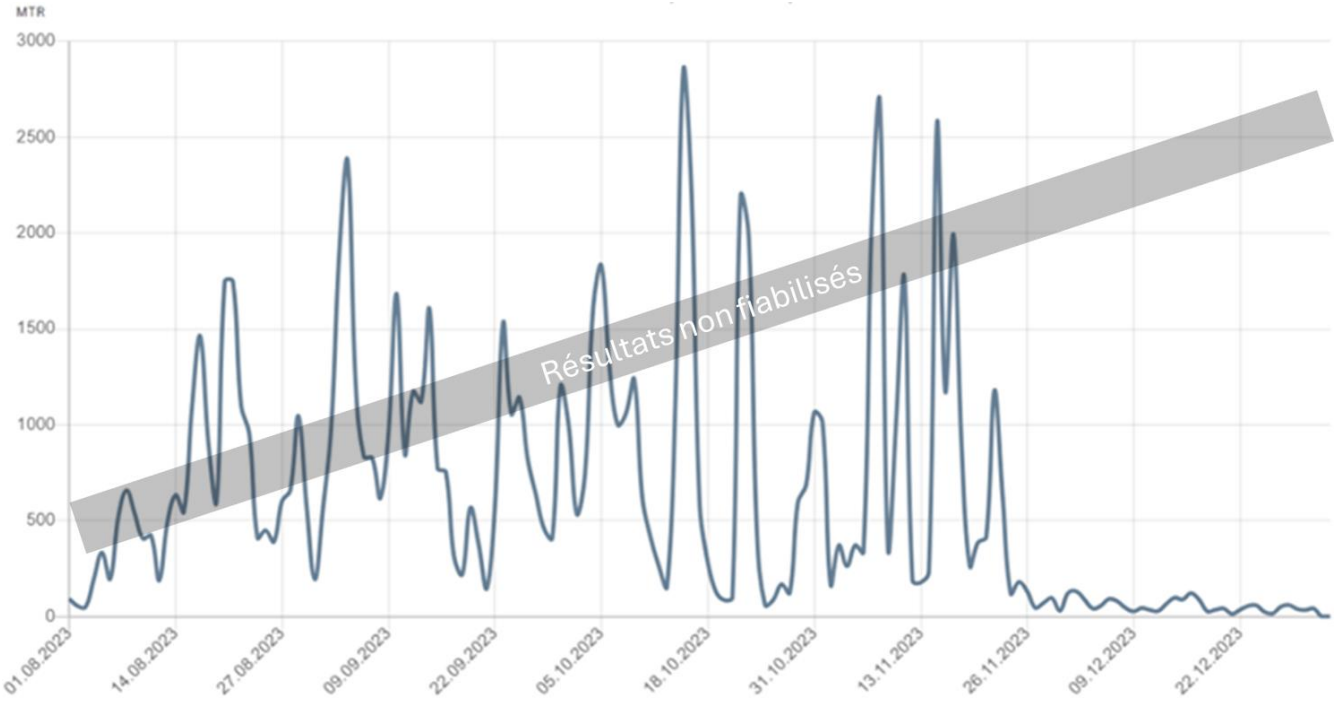


Figure 12 : Flux (MTR pour *Migration Traffic Rate*: nombre d'oiseaux par heure et par kilomètre) enregistrés sur le site de suivi par radar ornithologique "Arcachon" pour la période du 1er août 2023 au 31 décembre 2023. Les flux sont moyennés par jour. Ces résultats préliminaires sont à considérer avec précaution car les données n'ont pas été fiabilisées.

Office français de la biodiversité
Pole « mer » de Brest
Service ECUMM
16 quai de la Douane
29229 Brest cedex 2

4.4.3.4.2 Directions de vol

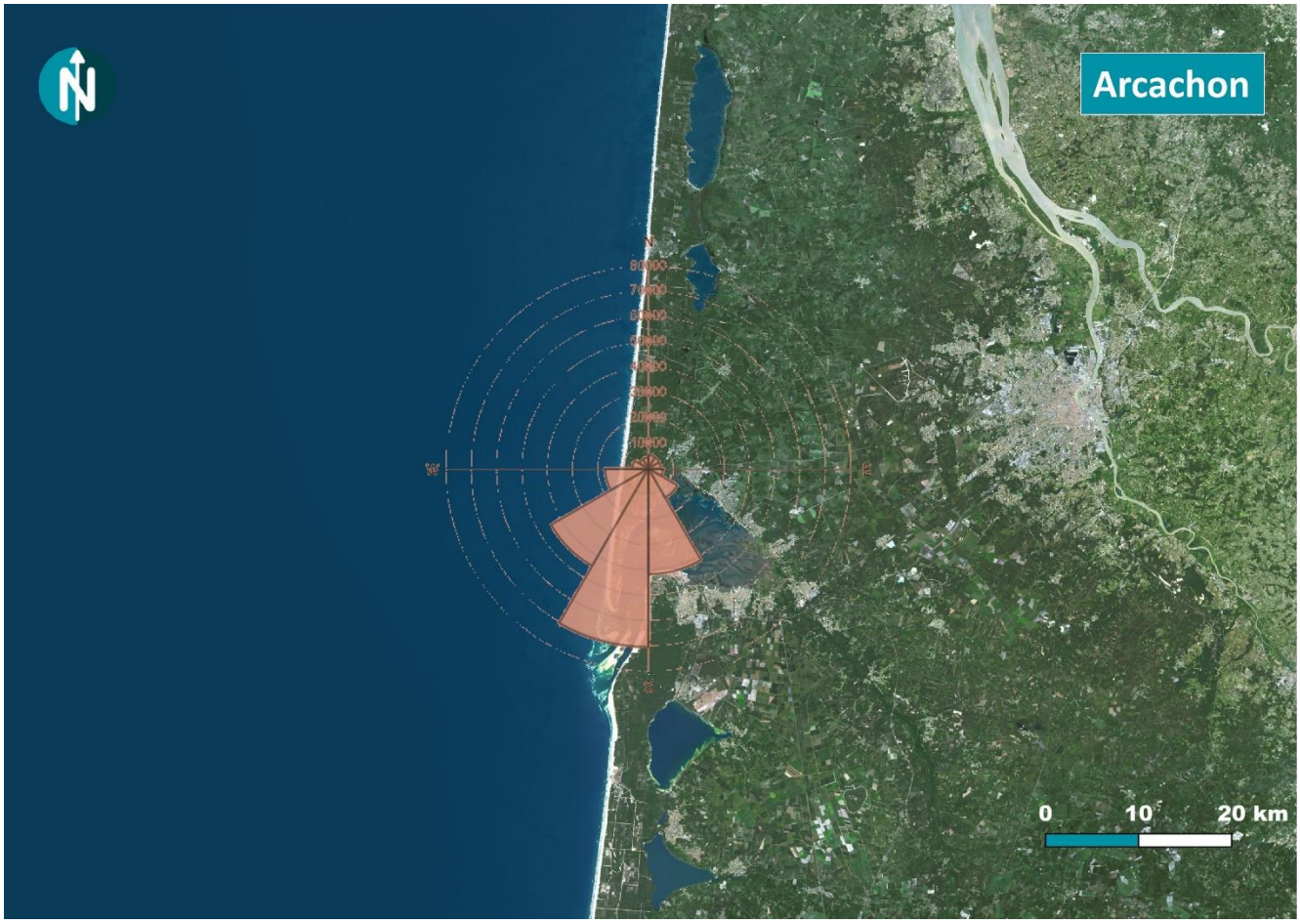


Figure 13 : Directions de vol enregistrées sur le site de suivi par radar ornithologique "Arcachon" pour la période du 1er août 2023 au 31 décembre 2023.

4.4.3.5 Synthèse

À ce stade du projet et des acquisitions de données, les analyses n'ont pas été menées et aucun résultat fiabilisé n'est disponible pour le lot 4 de MIGRATLANE. Les premiers aperçus de la bonne acquisition des données proviennent de l'outil de surveillance en ligne (données non corrigées) et sont présentés ci-dessus, pour les périodes d'acquisition du 01/08/2023 au 31/12/2023.

Au cours de la période d'acquisition, les flux les plus importants ont été enregistrés sur le site d'Arcachon, avec des flux moyens journaliers supérieurs à ceux des autres sites. Le deuxième site ayant enregistré les flux les plus importants est celui de la Baie de Somme, suivi de Noirmoutier. Enfin, le site de la pointe du Cotentin enregistre les flux moyens journaliers les plus faibles.

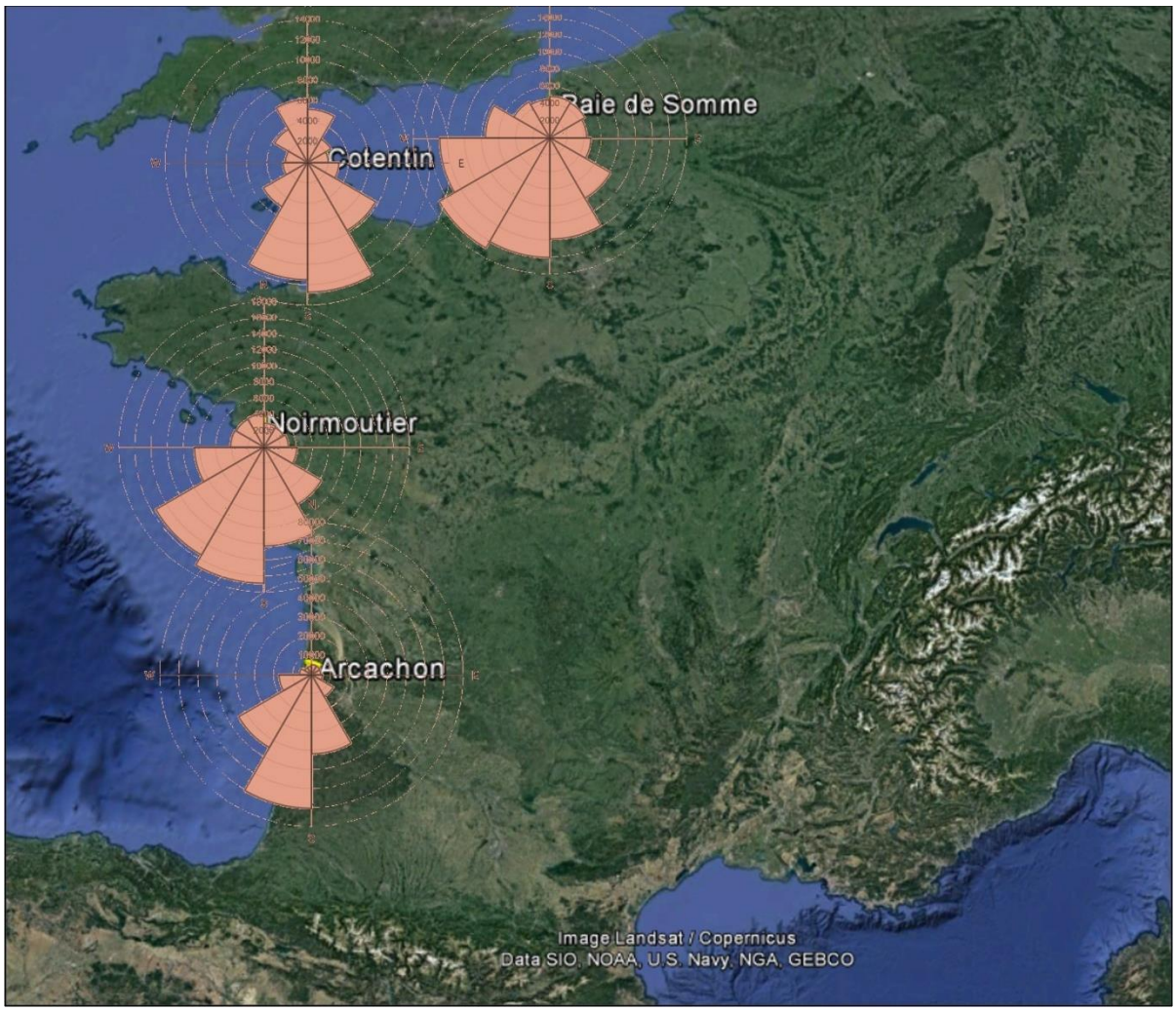


Figure 14 : Synthèse des directions de vol sur les différents sites d'acquisition.

4.4.4 Radars météorologiques : avancée des travaux SEMAFOR

Les travaux menés au sein du projet SEMAFOR permettent la production de cartes de visualisation des flux de migrations en temps réel. Ces cartes consistent à la visualisation des passages d'oiseaux dans la colonne de 35km de rayon autour des radars du réseau métropolitain, elles sont générées toutes les 15min. Une illustration de ces cartes est présentée en Figure 15 avec le flux de migration observée le 12 mars 2024 à 23h. Les flux sont représentés en MTR (nombre d'individus par heure et par kilomètre). Nous faisons remarquer que la migration visualisée sur cette carte est assez intense en ce début de période prénuptiale par rapport à ce qui a pu être observé d'autres années.

Un second produit a été implémenté par le lot 4 du projet SEMAFOR (travail de Amédée Roy) qui permet de prévoir les flux de migration de la nuit à partir des prévisions météorologiques faites à 12h le jour même, et du contexte (date, position). La prévision pour la nuit du 12 mars 2024 est présentée sur la Figure 16, où l'on voit que les directions de vol sont bien prédites par le modèle, mais que l'ordre de grandeur du flux est sous-estimé. Ces évènements migratoires sont les premiers de la saison, nous n'avons donc pas encore de recul sur les raisons de cette sous-estimation. S'il n'y a pas d'erreur dans l'implémentation de la méthode, nous pourrions interpréter cette situation de la façon suivante : le modèle de prévision a été entrainé sur des années de migration (2017 à 2022) où la migration commençait plus tard dans le mois de Mars.

L'extranet de visualisation de ces produits n'est pas encore disponible, mais ces champs seront visualisables en association avec des champs météorologiques qui permettront de remettre dans le contexte les flux estimés en prévision et les flux mesurés. Un exemple de visualisation du champ de taux de pluie sur l'extranet Phoenix est présenté en Figure 17.

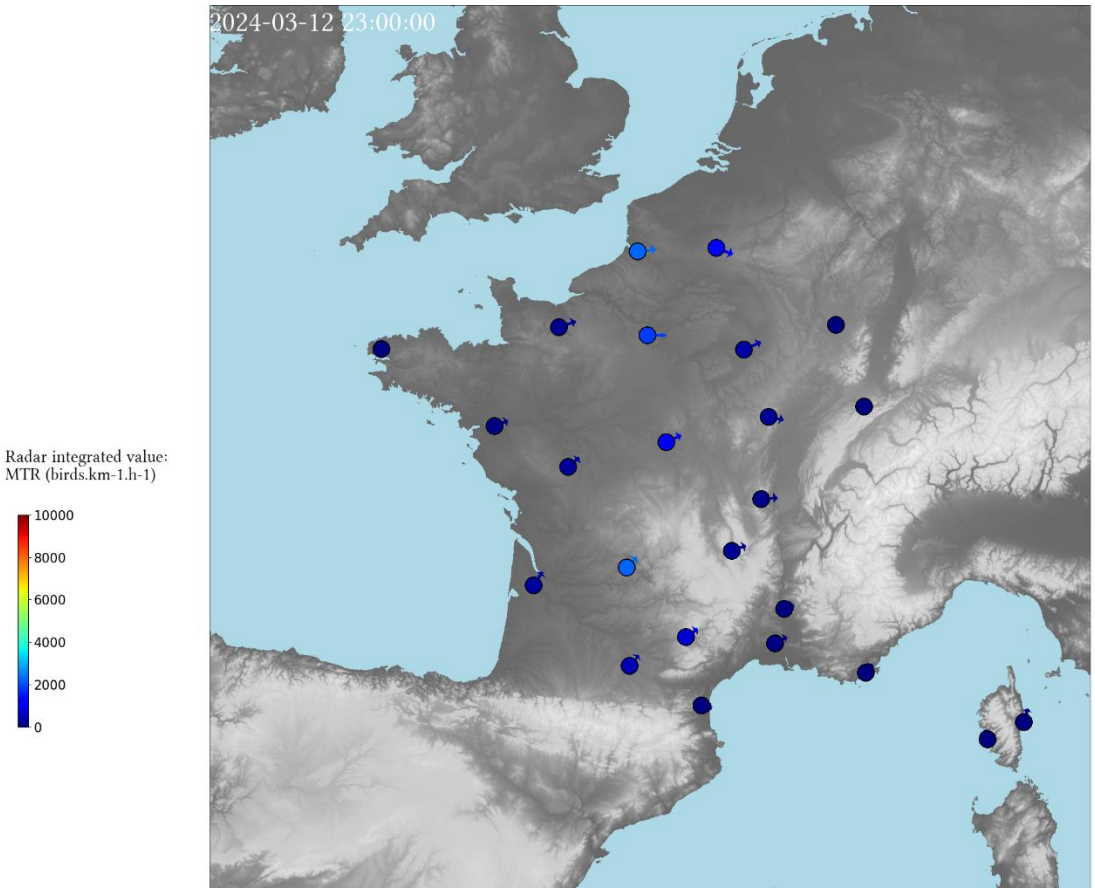


Figure 15 : Visualisation des flux d'oiseaux (MTR pour Migration Traffic Rate, soit le nombre d'individus par heure et par kilomètre) dans la colonne de 35 km de rayon autour des radars météorologiques du réseau métropolitain (résultats du programme SEMAFOR).

Office français de la biodiversité
Pole « mer » de Brest
Service ECUMM
16 quai de la Douane
29229 Brest cedex 2

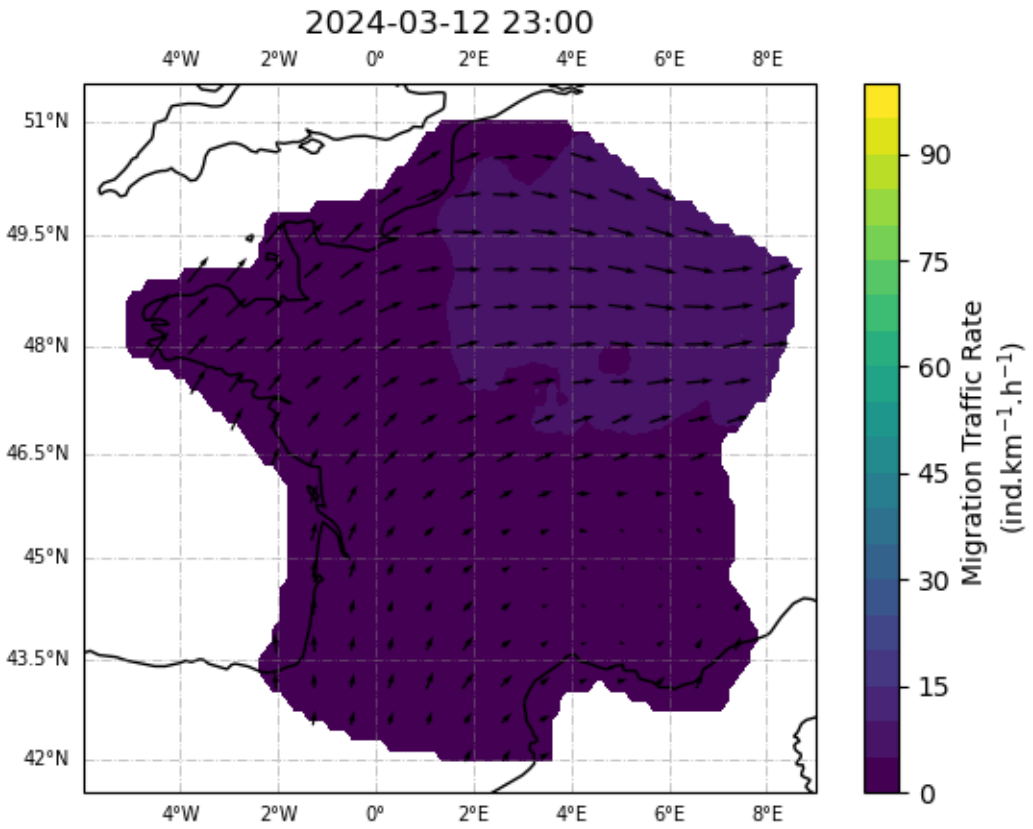


Figure 16 : Prédiction des flux de migration aviaire (exprimés en MTR pour Migration Traffic Rate, soit en nombre d'individus par heure et par kilomètre) pour la nuit du 12 mars 2024, à partir des prévisions météorologiques faites à 12h le jour même et du contexte (date, position).

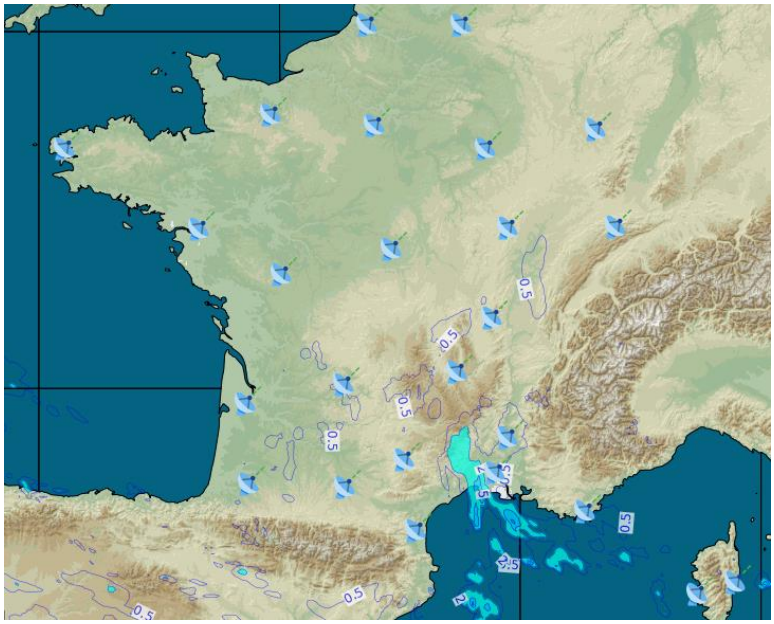


Figure 17 : Visualisation de champs météorologiques pour l'interprétation des densités et déplacements.

4.4.5 Poursuite des acquisitions par radars ornithologiques

Les suivis par radars ornithologiques se poursuivent sur les quatre sites présentés plus haut jusqu'à juin/juillet 2024. Au cours du premier trimestre 2024, le choix des sites pour les deux radars à déplacer sera éclairé par les premiers résultats de la migration prénuptiale.

Le bilan des acquisitions de données sera réitéré afin de statuer sur la définition des deux sites de suivi continu (3 ans) et des deux sites de suivi annuel (année 2023-2024), lesquels seront donc déséquipés courant juin/juillet 2024. L'ensemble de la flotte radar fera alors l'objet d'une opération de maintenance.

Les sites suivis pour l'année 2024-2025 seront ainsi soumis aux demandes d'autorisation d'émission (2ème trimestre 2024). Les deux nouveaux sites seront équipés à l'été 2024 pour la poursuite des acquisitions de données.

Les données acquises pendant la première année d'acquisition (un cycle biologique complet) seront traitées dans leur ensemble. Les distributions des altitudes, directions de vol, de jour comme de nuit, pour différentes classes de cibles (« groupes » d'oiseaux, ex : grands passereaux, petits passereaux, oiseaux d'eau, etc.) seront détaillées une fois l'intégralité des données acquises.

4.4.6 Lancement des travaux pour le volet « radars météorologiques »

Les travaux menés par Météo France sur le volet « radars météorologiques » du lot 4 de MIGRATLANE seront initiés au 1er trimestre 2024, en cohérence avec l'avancée du projet SEMAFOR. Une analyse approfondie des données sera menée, notamment en croisant les données des radars météorologiques à celles obtenues par radars ornithologiques, permettant de contextualiser les flux et densités estimés à large échelle par une information acquise à fine échelle.

Références bibliographiques

ASSALI, C., DESERT, T., DELCOURT, V., JOUET, A. 2023. MIGRATLANE - Caractérisation de l'utilisation de l'arc Atlantique Nord-Est par les migrateurs terrestres et l'avifaune marine à l'aide de méthodes complémentaires : synthèse bibliographique. Lot 4 – Radars ornithologiques et météorologiques. *Rapport pour l'OFB*. 39 PP.

BRUDERER, B., PETER, D., BOLDT A., et al. Wing-beat characteristics of birds recorded with tracking radar and cine camera. Ibis, 2010, vol. 152, no 2, p. 272-291.

SCHMID, B., ZAUGG S., VOTIER, S. C., CHAPMAN J. W., BOOS, M., and LIECHTI, F. 2019. Size matters in quantitative radar monitoring of animal migration: estimating monitored volume from wingbeat frequency. Ecography 42:931–941. https://doi.org/10.1111/ecog.04025.

PLANQUE, Y., CHABROLLE, A., BON, C. 2023. MIGRATLANE - Caractérisation de l'utilisation de l'arc Atlantique Nord-Est par les migrateurs terrestres et l'avifaune marine à l'aide de méthodes complémentaires : rapport de lancement du programme. Lot 1 – Coordination, rapportage et dissémination des résultats du programme. Rapport pour l'OFB. 103 PP.

Office français de la biodiversité
Pole « mer » de Brest
Service ECUMM
16 quai de la Douane
29229 Brest cedex 2