

ÉTUDE RELATIVE AUX EFFETS CUMULES EN MATIERE DE DEVELOPPEMENT EOLIEN EN REGION HAUTS-DE-FRANCE

DREAL Hauts-de-France

Rapport final – V3



TerrOïko

Ingénierie écologique & nouvelles technologies

www.Terroiko.fr, [LinkedIn](#),
[ResearchGate](#)

+33 (0)5 81 60 06 96

2 Place Dom Devic, BP 26, 81540
Sorèze, FRANCE

Dossier 20114003-V1
06/03/2025



Auddicé Biodiversité,
Terroïko et Sens of life
ZAC du Chevalement
5 rue des Molettes
59286 Roost-Warendin
03 27 97 36 39

Étude relative aux effets cumulés en matière de développement éolien en région Hauts-de-France

DREAL Hauts-de-France

Rapport final

DREAL Hauts-de-France

Version	Date	Description
Rapport final	28/01/2025	Description des méthodologies appliquées, résultats, perspectives

Nom - Fonction		Date	Signature
Rédaction	Sylvain Moulherat – Directeur général, Responsable R&D – TerrOïko	28/01/2025	
	Mélodie Kunegel-Lion – Ingénieure d'études et de recherche		
	Elsa Furlan – Cheffe de projets en écologie – Auddicé Biodiversité	28/01/2025	
Validation	Thomas Busschaert – Responsable Auddicé Biodiversité	26/10/2023	T. Busschaert

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE 1. RESUME NON TECHNIQUE.....	4
CHAPITRE 2. CONTEXTE ET DESCRIPTION DE LA MISSION.....	6
2.1 Contexte général de la mission	7
2.2 Portée de l'étude.....	9
2.3 Suivi de l'étude	10
2.3.1 Membres du comité scientifique.....	10
2.3.2 Dates de réunions.....	10
CHAPITRE 3. METHODOLOGIE D'EVALUATION.....	11
3.1 Métriques d'évaluations.....	12
3.2 Méthodes d'évaluation	12
3.2.1 IPA (Avifaune)	12
3.2.2 Points d'enregistrement (Chiroptères).....	13
3.2.3 Radar (Avifaune).....	14
3.3 Stratégie d'échantillonnage.....	18
3.3.1 Présence et abondance relative des oiseaux et chiroptères	18
3.3.2 Trajectométrie	24
3.4 Méthodologie de l'analyse des données.....	25
3.4.1 Diversité et abondance.....	25
3.4.2 Analyse des données radar.....	29
CHAPITRE 4. RESULTATS ET DISCUSSION (2021 ET 2022).....	32
4.1 Récapitulatif de l'échantillonnage.....	33
4.2 Effet de l'accumulation d'éolienne sur l'avifaune.....	34
4.2.1 Diversité en oiseaux.....	34
4.2.2 Abondance d'oiseaux.....	36
4.2.3 Trajectométrie	38
4.3 Résultats des inventaires chiroptérologiques (2021 et 2022).....	43
4.3.1 Diversité en chiroptères.....	43
4.3.2 Abondance de chiroptères.....	45
4.4 Perspectives pour la suite de l'analyse.....	47
CHAPITRE 5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	48
5.1 Conclusions.....	49
5.2 Perspectives.....	50
BIBLIOGRAPHIE.....	51
GLOSSAIRE	52
Annexe 1 : Détail des poses d'enregistreurs chiroptères 2021 – 1 ^{er} passage	53
Annexe 2 : Détail des poses d'enregistreurs chiroptères 2021 – 2 ^{ème} passage	55
Annexe 3 : Détail des poses d'enregistreurs chiroptères 2022 – 1 ^{er} et 2 ^{ème} passages.....	57
Annexe 4 : Carte des secteurs inventoriés par IPA pour les oiseaux - 2021	60
Annexe 5 : Carte des secteurs inventoriés par IPA pour les oiseaux - 2022	61
Annexe 6 : Résultats des modèles (Diversité et abondance d'oiseaux).....	62
Annexe 7 : Résultats de trajectométrie.....	63
Annexe 8 : Résultats des modèles (Diversité et abondance de chiroptères).....	65
Annexe 9 : Note de Monsieur William Jaffre de Sens of life relatant les limites et difficultés rencontrées lors de l'étude radar	66

CHAPITRE 1. RESUME NON TECHNIQUE

L'expansion rapide des énergies renouvelables en France et, d'une manière générale, en Europe, est motivée par des objectifs de développement durable ambitieux à l'horizon 2050. Dans le cadre de ces objectifs, l'énergie éolienne est considérée comme un acteur clé de la réduction des émissions de carbone et de la transition énergétique. Toutefois, cette croissance suscite des inquiétudes quant à son impact potentiel sur la société et la nature. Si certains impacts sociaux ont été étudiés, il existe encore peu d'études complètes sur l'impact de ces infrastructures sur la biodiversité.

En 2022, la région Hauts-de-France représentait plus de 28 % de la capacité éolienne totale installée en France. Première région productrice d'énergie du pays, les Hauts-de-France jouent un rôle central dans la transition nationale vers les énergies renouvelables mais posent également la question des impacts cumulés sur la biodiversité dus à l'expansion continue des infrastructures éoliennes.

Ce projet visait à évaluer l'influence de l'accumulation de parcs éoliens dans la région des Hauts-de-France sur la biodiversité, en particulier sur les oiseaux et les chauves-souris, qui sont les groupes les plus concernés. Les principaux objectifs du projet étaient i) d'évaluer si la densité des éoliennes influence la diversité et l'abondance de l'avifaune et des chiroptères et ii) d'examiner à une échelle plus fine les effets de la densité des éoliennes sur les déplacements des oiseaux. La compréhension de ces impacts est cruciale pour le développement de stratégies visant à atténuer les effets négatifs de l'accumulation des éoliennes sur la biodiversité tout en promouvant un développement énergétique durable.

En utilisant une combinaison de relevés de terrain, de suivi acoustique et de détections radar, l'étude a évalué la richesse et l'abondance des espèces d'oiseaux et de chauves-souris (les trajectoires ont été analysées pour les oiseaux uniquement) sur plusieurs sites de la région Hauts-de-France, avec des densités des éoliennes et des contextes paysagers variés, entre 2021 et 2022. Les résultats indiquent que la densité des éoliennes a un impact notable sur la diversité et l'abondance des espèces d'oiseaux, en particulier des passereaux, mais n'affecte pas de manière significative les populations de chauves-souris. Le contexte paysager, en particulier la présence de surfaces boisées, de surfaces en eau et de zones urbanisées, joue également un rôle clé dans la formation de ces schémas. L'analyse n'a pas mis en évidence d'effet de l'accumulation de parcs éoliens sur le changement de trajectoire des oiseaux. Il est important de considérer ces résultats avec prudence compte tenu de la quantité relativement faible de données utilisées en raison de certaines difficultés techniques et logistiques. Si une ou plusieurs nouvelles campagnes de terrain sont effectuées dans le cadre de ce projet, les données collectées lors de celles-ci permettront de confirmer ces résultats et d'explorer d'autres facteurs qui n'ont pas pu être pris en compte ici.

L'étude souligne la nécessité de limiter la densité des parcs éoliens à proximité des zones urbanisées, des surfaces en eau ou des zones forestières afin de minimiser les effets négatifs sur la faune volante. Cette densité devrait être encore plus limitée dans les zones où plusieurs de ces habitats sont présents.

Les résultats de ce projet mettent en évidence l'importance d'une surveillance à long terme pour bien comprendre et distinguer les effets de l'accumulation des éoliennes sur la faune, car les observations à court terme risquent de ne pas saisir toute l'ampleur de ces impacts.

CHAPITRE 2. CONTEXTE ET DESCRIPTION DE LA MISSION

2.1 Contexte général de la mission

La région Hauts-de-France se situe au premier rang en matière de production d'énergies renouvelables éoliennes en France. Cette position se traduit par une pression importante sur les espaces naturels et agricoles, les recherches de sites tendant à agglomérer les parcs dans les zones considérées comme les plus favorables à la production d'énergie.

Alors que les espaces naturels de grand intérêt écologique, par ailleurs souvent protégés, se trouvent en général exclus des périmètres de demandes d'installation de parcs éoliens, il n'en est pas de même pour les espaces considérés comme abritant majoritairement la nature « ordinaire », sur lesquels les éoliennes tendent à se concentrer. Ces espaces peuvent pourtant s'avérer être des éléments importants du cycle de vie de certaines espèces.

Si un travail de fond a été mené sur le sujet de la saturation en matière de paysage, sur le volet relatif à la biodiversité, la question des effets cumulés se pose désormais de façon marquée, compte-tenu de la concentration des parcs, que ce soit sous l'angle de la perte potentielle ou de l'altération éventuelle d'habitats mais aussi de la perte possible de fonctionnalité de ces habitats. Ce questionnement est valable en particulier pour les chiroptères et l'avifaune pour lesquelles peu de données existent sur ces aspects.

Les études publiées s'accordent sur le fait que les impacts des éoliennes se concentrent principalement sur la perte ou la modification de l'habitat pendant la phase de construction, ainsi que sur la perturbation et la mortalité directe durant les phases de construction et d'exploitation (Gaultier et al. 2019).

Au cours de la phase d'exploitation, les éoliennes peuvent modifier les comportements des chauves-souris et des oiseaux. Certaines espèces d'oiseaux, notamment les rapaces, peuvent être attirées par les éoliennes ou leurs abords. En revanche, d'autres espèces, comme les oiseaux nicheurs sont suivant déplacées par ces infrastructures (Riols-Loyrette 2015). Des études menées en Allemagne et en France ont démontré que plusieurs espèces de chauves-souris évitent les zones où les éoliennes sont en fonctionnement, entraînant ainsi une perte d'habitat disponible (Reusch et al. 2022, Leroux et al. 2024). De même, pour les oiseaux et les chauves-souris, les éoliennes peuvent provoquer une altération ou une diminution du nombre de proies et de sites favorables à la reproduction (Coppes et al. 2020).

En ce qui concerne les effets directs, les parcs éoliens entraînent une mortalité élevée de la faune volante par collision ou barotraumatisme (Krijgsveld et al. 2009, Marx 2017). Les espèces très actives, qui utilisent quotidiennement un site comme zone de chasse ou de passage obligatoire, telles que la pipistrelle commune et le martinet noir, sont fréquemment affectées malgré les mesures de mitigation mises en place (Marx 2017).

En ce qui concerne l'impact cumulatif des parcs éoliens, les connaissances sont encore limitées. Cependant, les publications disponibles convergent vers l'idée que les impacts négatifs précédemment mentionnés tendent à s'intensifier avec une densité accrue d'installations (Gaultier et al. 2019). Par exemple, ces infrastructures créent un effet de barrière pouvant modifier de manière significative les trajectoires de déplacement des espèces migratrices (Moriguchi et al. 2019). Outre ces impacts sur le comportement animal et l'augmentation de la mortalité par collision, des études récentes mettent en évidence des altérations à l'échelle des écosystèmes. Ces changements concernent principalement la diminution de l'abondance et de la diversité des espèces,

l'augmentation de la présence d'espèces invasives et des modifications significatives, potentiellement irréversibles, des habitats affectés (Rezaei et al. 2023, Watson et al. 2024).

Cependant, il convient de noter que la majorité de ces recherches ont été réalisées dans des concentrations importantes de parcs éoliens « offshore ». Les informations sur les effets cumulatifs de ces infrastructures en milieux terrestres restent relativement limitées.

La démarche engagée vise à comprendre les impacts éventuels d'un cumul de parcs éoliens sur un même territoire de la région Hauts-de-France.

Cette étude souhaite apporter des éléments de réponses sur les questions suivantes en y apportant des informations objectives et scientifiques, sans aucune recherche d'une quelconque approche réglementaire :

- À l'échelle d'un territoire suffisamment vaste comportant de nombreuses éoliennes, y a-t-il un effet de la densité des éoliennes sur la diversité et l'abondance des espèces de faune volante (étant entendu que sont retenus ici l'avifaune et les chiroptères Figure 1) ? En effet, la présence et le nombre d'éoliennes peut entraîner une modification du comportement des espèces et ainsi de leur utilisation des milieux environnants que cela soit dû à une altération ou perte d'habitat, un effet répulsif, ou un effet barrière des éoliennes, s'il y a.

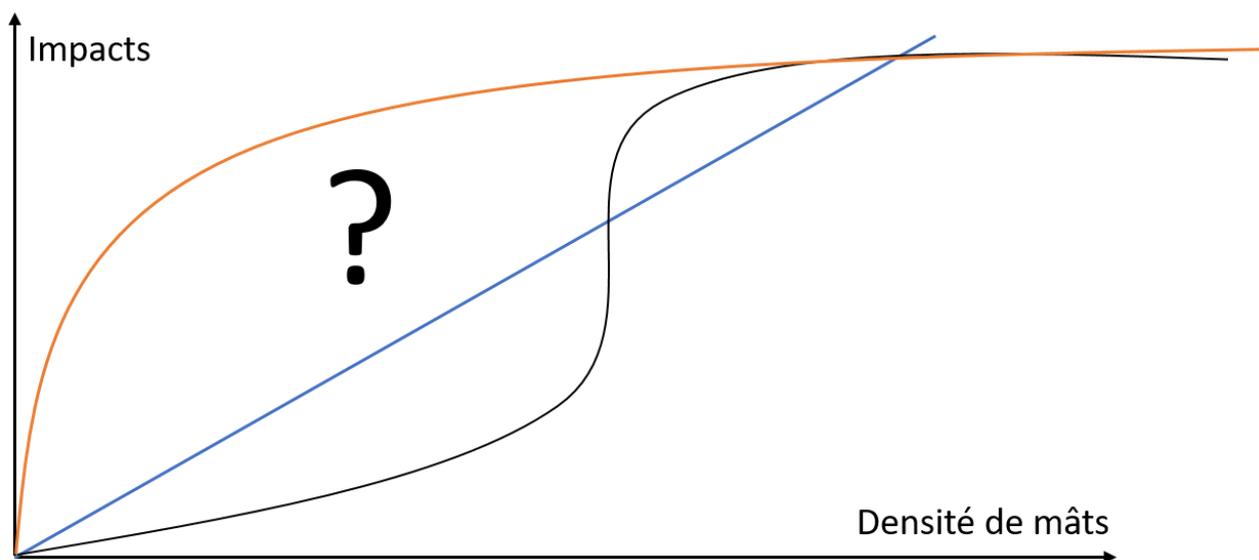


Figure 1. Formes de relations envisagées pour la relation entre les impacts sur les oiseaux et les chiroptères et cumul d'éoliennes dans les Hauts-de-France

- Quelle est l'évolution de l'utilisation de l'espace par les espèces en comparant avec les autres habitats environnants, en prenant en compte le temps depuis lequel les éoliennes sont installées ? En d'autres termes, quelle était l'utilisation connue de l'espace (toujours à grande échelle) avant les éoliennes, quels sont les impacts cumulés de l'implantation des éoliennes, c'est-à-dire l'impact de la densification des éoliennes dans le paysage en plus des effets positifs ou négatifs des autres éléments paysagers (milieux naturels, infrastructures humaines, etc.), quelques mois après leurs installations, puis après plusieurs années ? Par exemple, la modification d'utilisation de l'espace des espèces selon la densité d'éoliennes peut être amplifiée en présence de certains types de milieux (par exemple boisements et haies). Un

phénomène d'habitation aux éoliennes peut aussi se produire lorsque les espèces se trouvent confrontées à leur présence à plus long terme.

- A une échelle plus fine, le mouvement des espèces est-il directement affecté par la présence et le nombre d'éoliennes dans le paysage ? Y a-t-il un effet de la densité d'éoliennes sur des caractéristiques telles que la vitesse de déplacement ou les changements de direction par exemple, selon le type de faune volante ?

L'objectif de l'étude est donc bien d'acquérir des données sur un territoire avant et après l'implantation de nouvelles éoliennes. Elle permettra de suivre le comportement de l'avifaune et des chiroptères dans un contexte éolien en s'appuyant sur un secteur pourvu en éoliennes dans lequel est prévue l'implantation de nouvelles éoliennes afin de regarder l'effet de la densité d'éoliennes sur la diversité et l'abondance des oiseaux et des chiroptères. La situation avec les éoliennes en place est considérée comme étant la période t_0 et celle pour laquelle de nouvelles éoliennes seront implantées sera t_1 .

Il s'agit en effet d'apporter des données scientifiques quant à la question des effets cumulés des projets éoliens en matière de biodiversité, et plus particulièrement quant aux espèces d'oiseaux et de chiroptères présents. La question de l'altération voire de la perte d'habitats constitue le premier axe d'étude, l'autre étant lié à la perte de fonctionnalité.

On entend par habitat tout milieu utilisé par les espèces au cours de leur cycle : alimentation, reproduction, déplacements, repos ; la migration fait donc partie intégrante de la présente réflexion.

Quant à la fonctionnalité, elle s'entend comme la capacité d'un milieu à favoriser les déplacements et le maintien de populations d'oiseaux et de chiroptères sur le territoire.

L'étude permettra également d'identifier les limitations de la collecte de données et de l'analyse statistique et ainsi de conclure quant à la méthodologie appliquée en proposant d'éventuels ajustements ou préconisations nécessaires à ces deux étapes pour l'étude des effets cumulés des éoliennes dans le paysage sur les oiseaux et les chiroptères.

2.2 Portée de l'étude

Au lancement de l'étude, une première étape de qualification précise des questions à adresser dans la mission a été définie lors d'une réunion rassemblant la DREAL Hauts-de-France, le comité de suivi scientifique de l'étude et le groupement. A l'occasion de cette réunion, il a été discuté que l'évaluation de l'effet du cumul d'éoliennes sur la diversité et l'abondance des oiseaux et chiroptères de la région serait abordé à l'aide d'une approche d'écologie du paysage classique plutôt qu'avec les protocoles plus standardisés de BACI (*Before After Control Impact*). (Smith 2002). Les protocoles BACI sont conçus pour détecter les changements environnementaux dans les variables mesurées avant et après une perturbation et sont donc recommandés pour étudier ce type de sujets. Néanmoins, un protocole BACI n'est pas réalisable dans les conditions opérationnelles de la mission, une grande partie des éoliennes étant déjà construites.

De plus, l'effet gradient de la densité d'éoliennes lorsque la distance aux mâts augmente ne peut pas être pris en compte avec ce type de protocole. Il a donc été convenu que l'analyse se focaliserait sur la qualification de la relation entre diversité et abondance d'oiseaux et chiroptères et cumul d'éoliennes (Figure 1) en ciblant les

milieux agricoles (c'est-à-dire les zones couvertes par les parcelles du registre parcellaire graphique de l'IGN), seuls milieux dans les Hauts-de-France au sein desquels ces infrastructures sont développées.

En plus des caractéristiques du paysage, nous avons également pris en compte des variables connues pour influencer de manière significative la diversité et l'abondance des espèces, notamment les facteurs météorologiques, la pollution lumineuse et la saison (dates d'échantillonnage). L'objet de la mission est de comprendre et qualifier cette relation afin d'établir des préconisations quant à la prise en compte de l'effet cumulé des éoliennes sur la faune volante. D'autres variables, telles que les caractéristiques techniques des éoliennes (ex : type d'éolienne, puissance et dimensions, etc.), auraient pu fournir des informations intéressantes, mais ces données n'étaient pas suffisamment disponibles ou auraient nécessité un plan d'étude spécialisé pour être analysées correctement.

De même, lors de la réunion de lancement, la définition des espèces cibles a été revue. En effet, en premier lieu l'étude portait sur une liste d'espèces prédéfinies, sur lesquelles l'effet de la densité d'éoliennes serait analysé. Parmi ces espèces, des espèces patrimoniales et sensibles au risque éolien avaient été mises en avant : le Busard cendré, le Busard des roseaux et le Busard Saint-Martin pour les oiseaux ; les Pipistrelles et le groupe des « Sérotules » (Sérotine commune, Noctule commune et Noctule de Leisler) pour les chiroptères. Les échanges lors de la réunion ont finalement abouti à une évolution des espèces prises en compte. Cela a impliqué un élargissement à l'ensemble des espèces d'oiseaux et de chiroptères observées lors des prospections de terrain, qui pourront être rassemblées ensuite dans des catégories plus larges basées sur des caractéristiques communes (ex : corvidés, passereaux, rapaces, etc.). Il est important de noter que, bien qu'il existe des différences écologiques et comportementales significatives entre les espèces de ces groupes, la réalisation d'analyses au niveau des espèces aurait nécessité un cadre géographique et temporel de travail beaucoup plus large en raison du volume de données nécessaires.

2.3 Suivi de l'étude

2.3.1 Membres du comité scientifique

- Kévin BARRE, Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation (CESCO), Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) ;
- Jean-François JULIEN, (CESCO), (MNHN) ;
- Charlotte ROEMER, (CESCO), (MNHN) ;
- Olivier Pichard, Centre d'Etudes et d'Expertises sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema).

2.3.2 Dates de réunions

- Réunion de lancement : 07 janvier 2021
- COPIL : 02 février 2021
- COPIL : 09 septembre 2021
- COPIL interne au groupement : 02 février 2022
- COPIL : 22 février 2022.

CHAPITRE 3. METHODOLOGIE D'EVALUATION

3.1 Métriques d'évaluations

Pour évaluer l'impact de l'accumulation d'éoliennes sur les chiroptères et l'avifaune, nous nous sommes concentrés sur quelques métriques clés qui sont essentielles pour évaluer la biodiversité et la fonctionnalité des habitats.

- **Diversité** : Cette métrique reflète l'aspect « composition » de la biodiversité, faisant référence à la variété des espèces au sein d'un habitat donné. Elle est généralement mesurée par le **nombre d'espèces différentes présentes sur un site particulier**. Des valeurs de diversité plus élevées indiquent une plus grande variété d'espèces, ce qui est souvent associé à un écosystème plus sain et plus stable (Magurran 2021).
- **Abondance** : Cette métrique représente l'aspect « fonctionnel » de la biodiversité, quantifiant le **nombre total d'individus de chaque espèce dans un site particulier**. Une abondance élevée indique qu'une espèce est courante, tandis qu'une faible abondance suggère qu'elle est rare (Magurran 2021). Des abondances plus élevées sont le signe des habitats capables de soutenir de grandes populations, ce qui est un signe de leur fonctionnalité et de leur résilience.
- **Caractéristiques de trajectoires** : Cette série de métriques mesure **l'impact des variables du paysage sur les changements dans les mouvements des animaux tels que la vitesse et les changements de direction** pendant la migration ou les déplacements réguliers. Ces variables sont généralement évaluées à l'aide de la télémétrie, du suivi GPS ou des détections par radar. Cette analyse permet d'évaluer la fonctionnalité d'un habitat, car les changements dans les trajectoires des animaux peuvent être liés à des perturbations de l'habitat (Doherty et al. 2021).

3.2 Méthodes d'évaluation

Pour chacune des mesures expliquées précédemment, il existe différentes méthodes d'évaluation. Nous expliquons ci-dessous en détail les méthodes qui ont été sélectionnées en raison de leur validité scientifique et de leur capacité à couvrir de grandes superficies, conditions importantes pour la réalisation de ce projet.

3.2.1 IPA (Avifaune)

Pour la phase de terrain pour les oiseaux, des **IPA** (Indice Ponctuel d'Abondance) ont été utilisés. Les IPA consistent en un observateur immobile qui enregistre tous les contacts (sonores et visuels) avec les oiseaux. Ils sont réalisés le matin à partir du lever du soleil, lorsque l'activité des oiseaux est maximale. Chaque IPA a duré 10 minutes et deux passages sur chaque point d'échantillonnage ont été réalisés : un premier au mois d'avril et un second au mois de mai.

3.2.2 Points d'enregistrement (Chiroptères)

Concernant les chiroptères, des enregistreurs de type **SM4-BAT** de WildLife Acoustics ont été posés sur chaque secteur, lors de deux sessions d'enregistrement (une en période de parturition et une en période de transit automnal), en 2021 et en 2022 (Tableau 3).

L'ensemble des enregistreurs ont été paramétrés selon les paramètres suivants :

Tableau 1. Paramétrage des enregistreurs automatiques de chauves-souris

• Paramètre	• SM4Bat
High Filter (filtre haut)	16kHz
Gain	+12dB
Taux d'échantillonnage	256kHz
Fréquence maximale	Non
Durée minimale des sons	1,5ms
Durée maximale des sons	Non
Fréquence minimale de déclenchement de l'enregistrement	14kHz
Niveau de déclenchement de l'enregistrement	12dB
Fenêtre pour le déclenchement de l'enregistrement	3s
Durée maximale des enregistrements	15s
Compression des fichiers audio	Non
Heure de déclenchement de l'enregistrement	1h avant le coucher du soleil
Heure de fin de l'enregistrement	1h après le lever du soleil

Une fois les enregistrements réalisés, l'ensemble des données « brutes », c'est-à-dire les fichiers sons, ont été collectées et envoyées pour traitement sous le logiciel Tadarida au Muséum National d'Histoire Naturelle.

Ce logiciel permet d'obtenir un traitement des données selon les modalités suivantes :

Contacts avec une confiance élevée (mesure d'activité à minima)

Bilan de la participation			Contacts avec une confiance élevée (mesure d'activité à minima)	
#	Taxon parent	Nom	Nb contact min	Nb de contact probable
1	Chiroptères	Barbastelle d'Europe (Barbastella barbastellus)	0	1
2	Chiroptères	Oreillard gris (Plecotus austriacus)	1	9
3	Chiroptères	Minioptère de Schreibers (Miniopterus schreibersii)	6	15
4	Chiroptères	Pipistrelle soprane (Pipistrellus pygmaeus)	19	36
5	Chiroptères	Noctule de Leisler (Nyctalus leisleri)	15	32
6	Chiroptères	Sérotine commune (Eptesicus serotinus)	0	26
7	Chiroptères	Molosse de Cestoni (Tadarida teniotis)	0	8
8	Chiroptères	Pipistrelle de Kuhl (Pipistrellus kuhlii)	15	107
9	Chiroptères	Murin de Daubenton (Myotis daubentonii)	0	13
10	Chiroptères	Vespère de Savi (Hypsugo savii)	4	11
11	Chiroptères	Petit Rhinolophe (Rhinolophus hipposideros)	1	1
12	Chiroptères	Pipistrelle commune (Pipistrellus pipistrellus)	100	164
13	Chiroptères	Murin à oreilles échanquées (Myotis emarginatus)	0	3
14	Chiroptères	Pipistrelle de Nathusius (Pipistrellus nathusii)	0	12
1	Orthoptères	Conocéphale des marais (Conocephalus dorsalis)	0	1
2	Orthoptères	Decticelle cendrée (Pholidoptera griseoaptera)	0	549
3	Orthoptères	Decticelle intermédiaire (Platycleis intermedia)	0	322

Liste des espèces présentes

Activité estimée

On peut d'emblée présumer de la présence importante de certaines espèces

Les espèces n'ayant aucun contact avec une confiance élevée ne sont peut-être pas présentes (à vérifier)

Les chiroptères sont listés en premier suivis des orthoptères puis d'éventuelles autres espèces parfois détectées (rongeurs, autres insectes...)

Figure 2. Traitement des données avec le logiciel Tadarida.

Définition : Un contact correspond à une période de 5 secondes où au moins un cri de chauve-souris a été identifié. Un même individu chassant en aller et retour peut ainsi être noté plusieurs fois, de même que plusieurs individus peuvent être identifiés lors d'un contact. Cette mesure exprime donc bien une « quantité d'activité » et non une abondance de chauves-souris.

Après réception des résultats, un second tri a été réalisé par Auddicé afin d'exclure les données aberrantes, notamment les espèces non présentes dans la région Hauts-de-France (Molosse, Minioptère, Vespère de Savi), ou regroupées dans des groupes plus larges si l'espèce a peu de chance d'avoir été correctement identifiée par le logiciel (par exemple, le Murin de Capaccini sera exclu comme espèce de par son absence dans la région, mais ses contacts seront gardés et regroupés dans le groupe des « Murins indéterminés » pour l'analyse par abondance).

3.2.3 Radar (Avifaune)

Le protocole de suivi concerne une session de deux semaines d'étude pour suivre la migration postnuptiale, courant septembre. Deux campagnes ont été réalisées : une en 2021 (du 6 au 21 octobre) et une en 2022 (3, 26 et 27 septembre). Suite à de nombreux problèmes techniques (voir note en Annexe 9), seule la campagne de 2022 a pu être analysée.

Les radars présentent de nombreux avantages :

- Ils sont capables de détecter les individus sur de grandes distances ;
- Leurs performances sont peu altérées par les nuages ou le brouillard ;
- Ils surveillent une zone de 360° (radar horizontal) x 20° (radar vertical).

Cependant, ils n'identifient pas les espèces, seul un classement par groupe de taille et vitesse de déplacement est possible (« passereaux », « colombiformes », « petits rapaces », « grands rapaces »). Chacun des groupes incluent plusieurs espèces très différentes (la Corneille noire est détectée comme un « petit rapace »). Par exemple, il ne sera pas toujours possible ici de faire la différence entre les différentes espèces de passereaux en migration nocturne et les chiroptères.

Deux types de radars seront combinés : le bande X en mode vertical et le bande S en mode horizontal. Les distances de détection en altitude des radars dépendent de la distance de l'objet : plus la distance « horizontale » est grande, plus le radar éclaire en altitude. En mode vertical, le radar éclaire jusqu'à 2km (Figure 3).



Figure 3. Représentation schématique des volumes de détection de deux radars (le radar horizontal a une portée de 12 km, non représentée ici)

- Radar en bande X :

Le radar en bande X est sensible à la pluie. Le radar utilise une antenne avec un faisceau vertical à 22° au-dessus de l'horizon (antenne modifiée). Les oiseaux survolant ce faisceau ne sont pas détectés. Les performances de détection sont réduites par le bruit de mer et la pluie. La détection est fortement réduite par le vent fort. Le radar est incapable de détecter la cible par temps de pluie. La plage de détection des cibles varie 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 (jusqu'à 2 km dans de bonnes conditions).

Caractéristiques générales :

- Puissance 25 kW,
- Fréquence 9,4 GHz,
- Consommation électrique < 250W/h,
- Type d'alimentation électrique : 12 VDC / 24 VDC / 220 VAC

Distances de détection :

- 7 km, grands oiseaux (buse variable...),
- 5 km, oiseaux de taille moyenne (pigeon, corneille...),
- 2 km, passereaux et chauve-souris,
- 0,8 km, insectes.

Ce type de radar est peu affecté par le brouillard, par contre il est gêné par la pluie : la détection devient impossible dans les secteurs soumis à une averse. Il reste aussi sensible aux échos de sol et aux échos de mer.

- Radar en bande S :

Le radar en bande S détecte une Buse variable à 12 km, tandis qu'un radar en bande X la détecte à 6 km. Le radar en bande S a une distance de détection deux fois plus longue que le radar en bande X, mais le radar en bande X est plus souvent déployé en raison de sa taille moindre et de son alimentation en énergie plus simple.

Le Tableau 2 présente les avantages et les inconvénients des deux types de radars et la Figure 4 montre l'installation réalisée pour cette étude.

Tableau 2. Avantages et inconvénients des différents radars utilisés

Radar	Avantages	Inconvénients
Bande X	Alimentation électrique 12 kW 2,2 m de diamètre, 40 kg	Distance de détection de 6 km pour une Buse variable Sensible à la pluie
Bande S	Distance de détection de 12 km pour une Buse variable Moindre sensibilité à la pluie et aux échos de mer	Alimentation électrique 25 kW 3,80 m de diamètre, 60 kg



Figure 4. Installation des radars en 2021

Le faisceau de ce type d'antenne est horizontal et couvre verticalement un angle de 25° ($12,5^\circ$ de part et d'autre de l'horizon), selon la figure suivante :

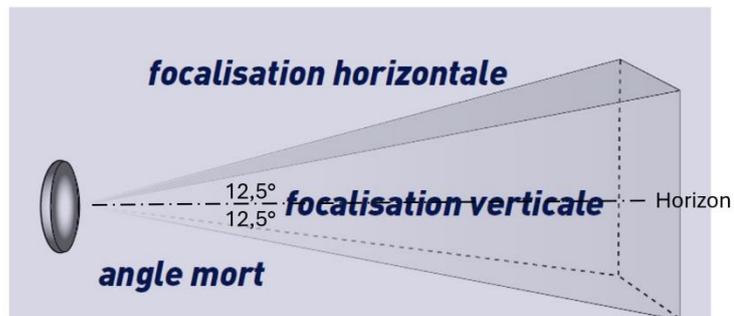


Figure 5. Faisceau de l'antenne du radar

De plus, dans le paramétrage du radar, il est possible d'inhiber des zones pour lesquelles les échos ne sont pas pris en compte

La présence d'une zone morte, autour du radar lui-même induite par l'effet de cône de perception représenté ci-dessus. Le bâtiment (suivant ses dimensions) peut être donc invisible au radar.

3.3 Stratégie d'échantillonnage

3.3.1 Présence et abondance relative des oiseaux et chiroptères

- **Étape 1 : Densité d'éoliennes et maillage**

Les éoliennes ont un impact sur les communautés d'oiseaux et de chauves-souris dans un rayon estimé à environ 5 km (Tolvanen et al. 2023); K. Barré, MNHN *comm. pers.*). Plutôt que de travailler sur les densités brutes en mâts d'éoliennes, des cartes de chaleur ont été réalisées pour illustrer l'intensité de leur influence (Figure 6). Ces cartes de chaleurs considèrent une influence décroissante des mâts éoliens suivant une exponentielle inverse (forme classique de diffusion des effets ; Niebuhr et al. 2023) dont l'ordonnée à l'origine a été définie par la puissance unitaire des mâts estimée à partir leur hauteur (proxy de puissance le mieux renseigné dans les données disponibles). Ces données sont issues de la base de données éoliennes de la DREAL Hauts-de-France. L'interaction des influences est supposée localement additive.

L'avantage de l'utilisation de la carte de chaleur est qu'elle permet une modélisation plus réaliste et homogène des effets de diffusion des infrastructures au-delà d'une simple densité par maille.

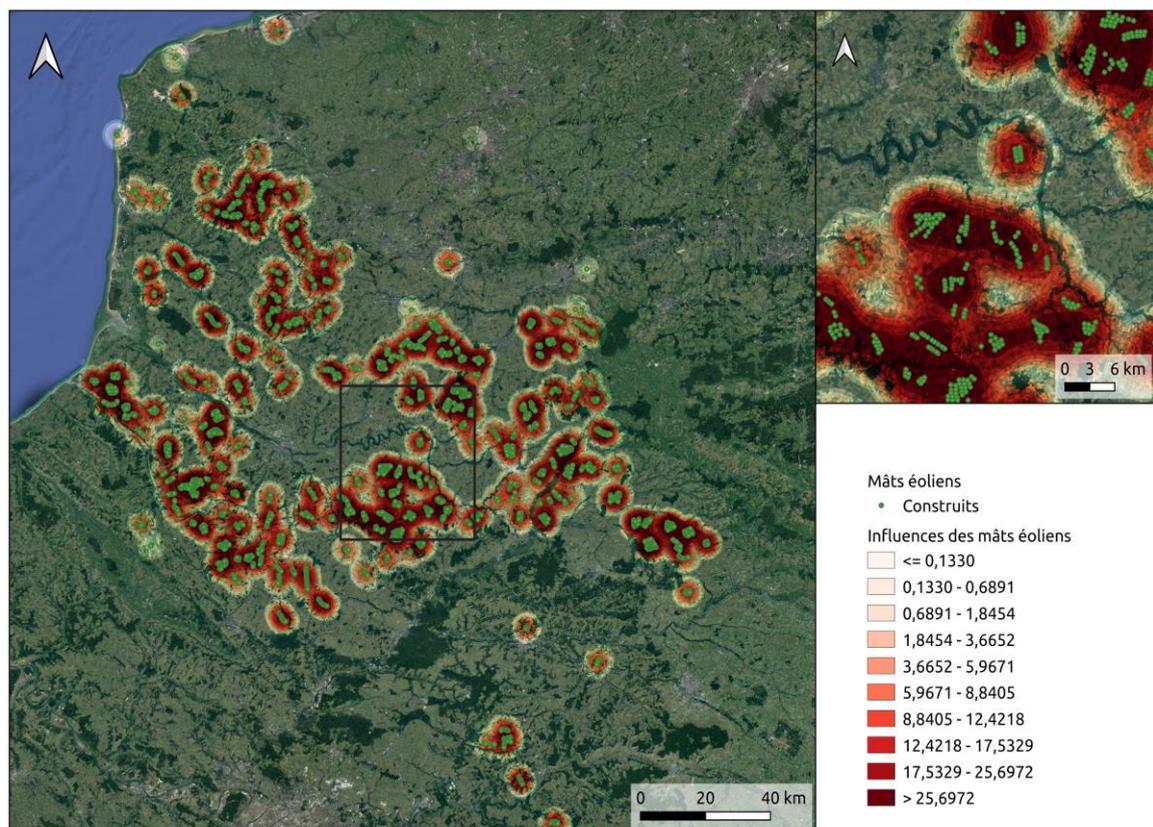


Figure 6. Extrait de carte de chaleur représentant l'intensité de l'influence des éoliennes construites en 2021

Dans ce contexte, la stratégie d'échantillonnage proposée vise à maximiser la variance des contextes paysagers en milieux agricoles, c'est-à-dire les mailles dont au moins la moitié de la surface est constituée de milieu agricole (Figure 7) le long du gradient (chaleur) de densité d'éoliennes construites en 2021 et à venir d'ici 2024.

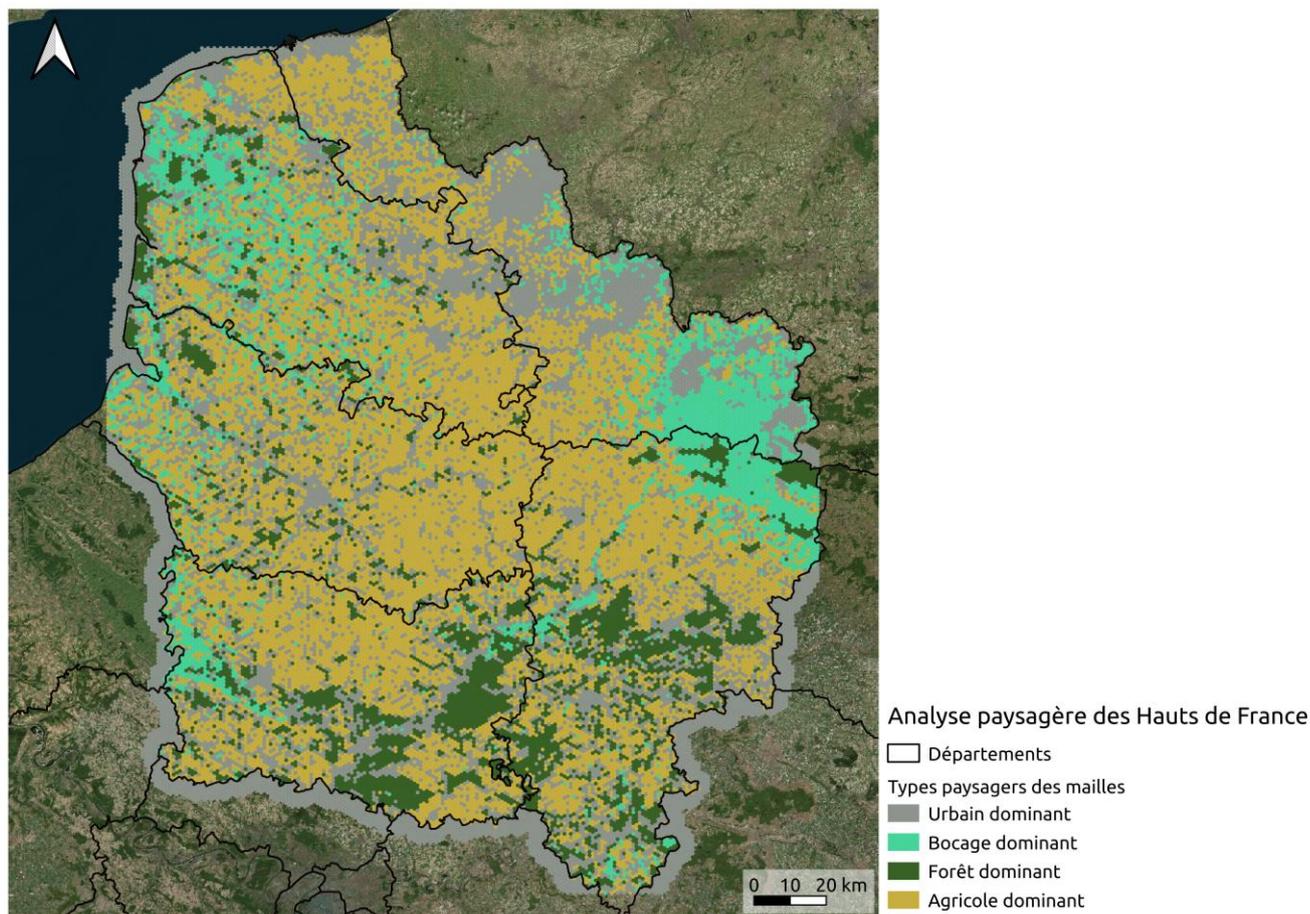


Figure 7. Cartographie des paysages dominants des Hauts de France

La caractérisation des impacts de la densité d'éoliennes sur la diversité et l'abondance des espèces suivies nécessite que le paysage soit maillé (la densité est à rapporter à une unité de surface) et que les unités statistiques de l'étude soient des mailles. Pour cette étude ce sont des mailles hexagonales dites en nid d'abeille de 1 km qui sont utilisées. Cette forme de maille permet de réduire la complexité de certains traitements grâce à la régularité des distances entre centre des mailles. La taille des mailles a été définie à 1 km afin de conserver un rapport optimal entre taille des mailles (maximisation de leur taille) tout en maximisant la diversité de l'influence de la densité d'éoliennes (Figure 8). Cette optimisation permet de trouver une résolution optimale d'analyse qui comportera différentes configurations de densités de parcs éoliens et de contextes paysagers pour aider à expliquer les différences observées dans la diversité et l'abondance des oiseaux et des chiroptères.

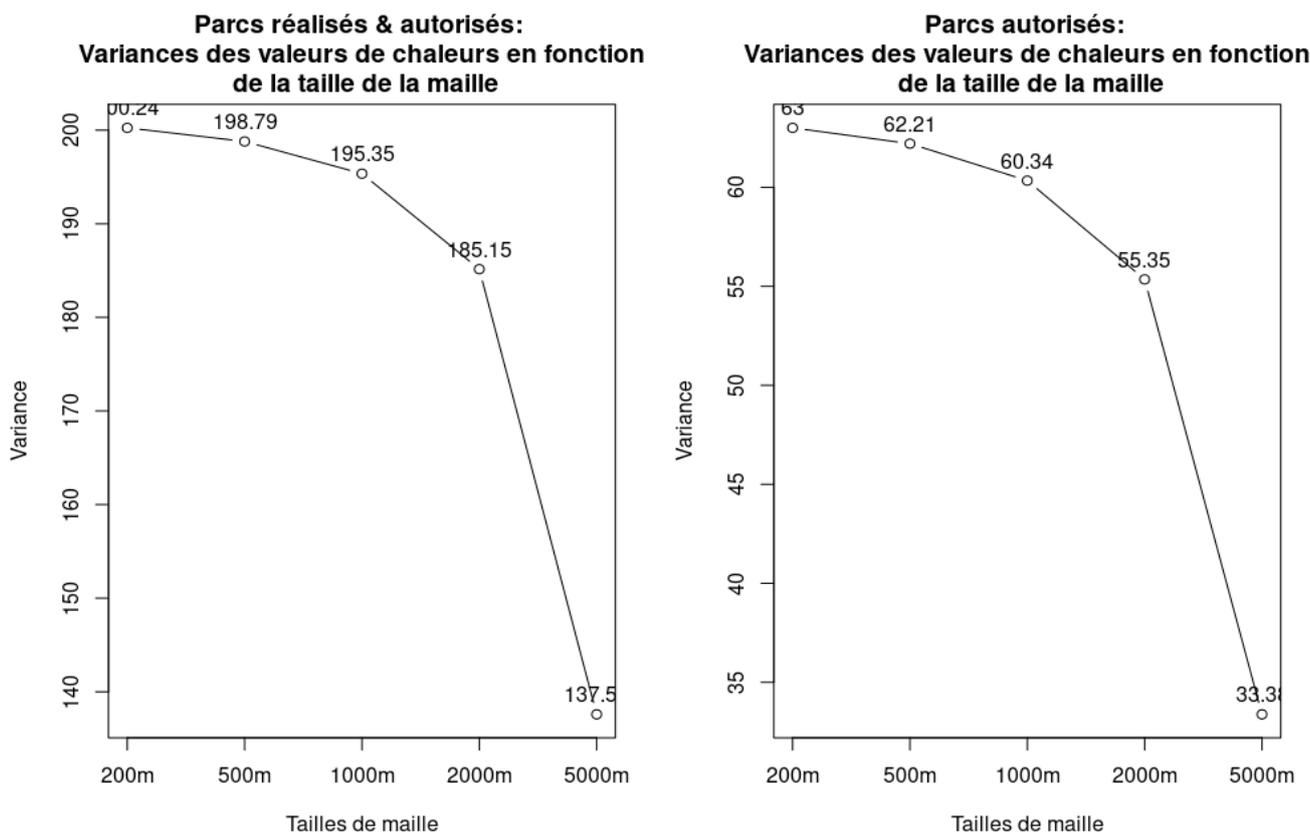


Figure 8. Évaluation de la variance de chaleur entre maille en fonction de la taille des mailles considérées

• **Étape 2 : Ciblage des conditions d'influence des éoliennes à explorer**

Au regard des besoins statistiques et des ressources disponibles pour réaliser le terrain, cette étape consiste à établir de classes de chaleurs réparties le long du gradient d'intensité. Cette approche permet d'assurer la représentativité des conditions d'influences des éoliennes, tout en maximisant la puissance statistique et la capacité de l'étude à caractériser la forme de la courbe modélisant l'effet du cumul d'éoliennes sur la diversité et l'abondance des espèces suivies. Au regard des formes classiquement attendues des courbes de saturation, il est nécessaire d'intensifier les observations de manière à identifier les secteurs d'inflexion des courbes (Figure 9). Nous avons défini quatre classes de chaleur, réparties pour couvrir des secteurs de moindre densité vers les secteurs de plus forte densité, afin de maximiser les chances de détection des points suivants structurant des courbes attendues :

- l'initialisation de la forme de la courbe,
- la présence d'un effet de seuil pour l'initialisation des impacts,
- la présence d'un effet de seuil de saturation des impacts,
- le comportement asymptotique de la courbe.

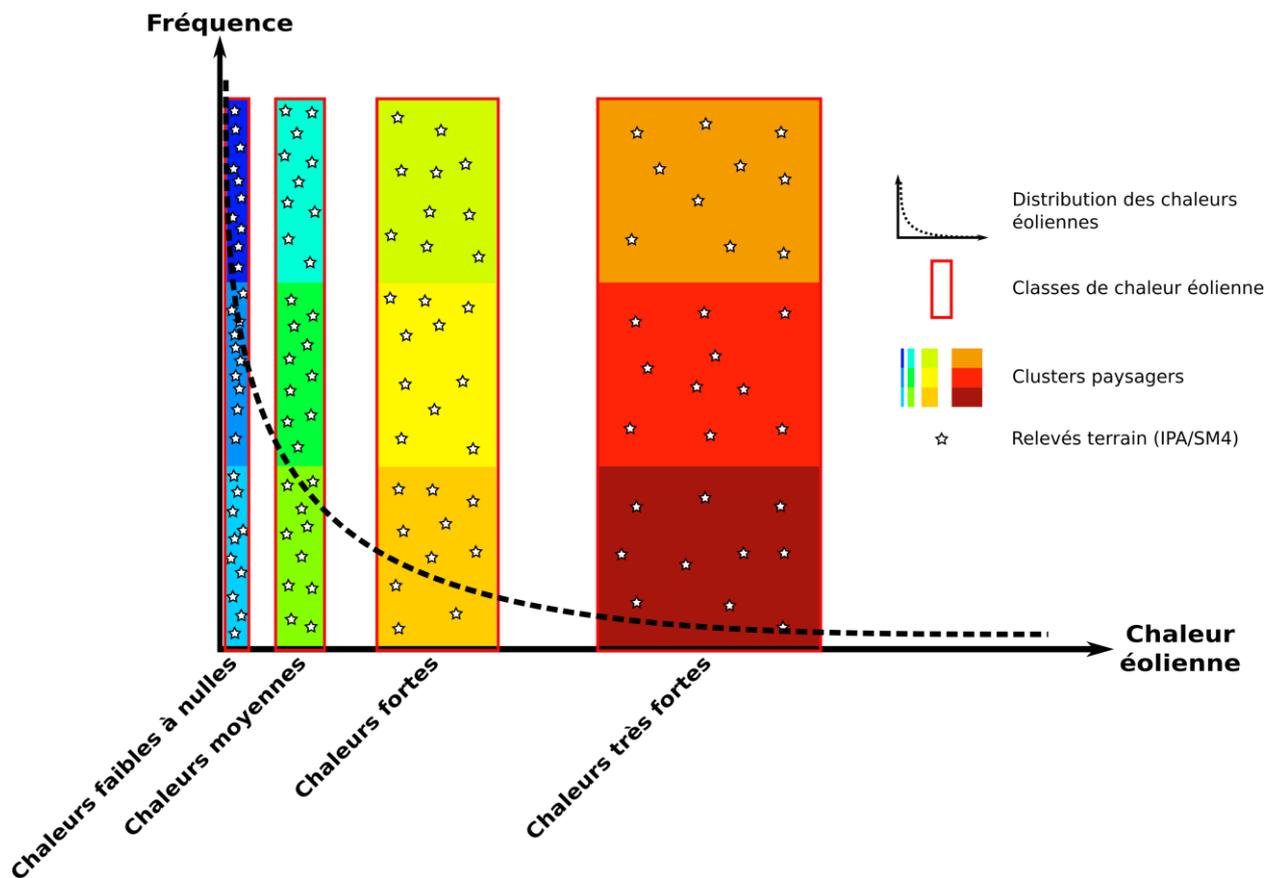


Figure 9. Représentation schématique de la stratégie d'échantillonnage IPA (avifaune) / SM4 (chiroptères) pour chaque classe de chaleur éolienne

• **Étape 3 : Optimisation des conditions paysagères par classe de chaleur**

Pour chacune des classes de chaleur définie en étape 2, l'étape 3 consiste à maximiser la diversité des contextes paysagers tout en restant dans les mailles de milieu agricole. Pour ce faire, les variables descriptives du paysage des mailles sont rassemblées à partir de plusieurs sources :

- le registre parcellaire graphique (RPG ; IGN),
- les éléments du territoire et de ses infrastructures (BD TOPO ; IGN),
- les formations végétales (BD FORET ; IGN), et
- la pollution lumineuse (DarkSkyLab).

Chaque maille est caractérisée par :

- les surfaces des différents groupes de culture du RPG,
- la surface de forêt,
- la surface en eau,
- la médiane et l'écart-type des distances aux zones bâties,
- la médiane et l'écart-type des distances aux forêts,
- la médiane et l'écart-type des distances au réseau hydrographique,
- la médiane et l'écart-type des distances aux routes, et

- la médiane et l'écart-type de l'intensité de la pollutions lumineuse.

Les mailles les plus semblables en termes de paysage sont alors agglomérées à l'aide de méthode de classification non supervisées (kmeans) pour constituer trois classes de contextes paysagers pour chacune des quatre classes de chaleur, c'est-à-dire un total de 12 clusters paysagers (Figure 10). Ainsi, chaque cluster paysager est un groupe de mailles qui partagent une combinaison similaire de contextes paysagers (éléments artificiels et naturels) et de classes de chaleur (densité d'éoliennes).

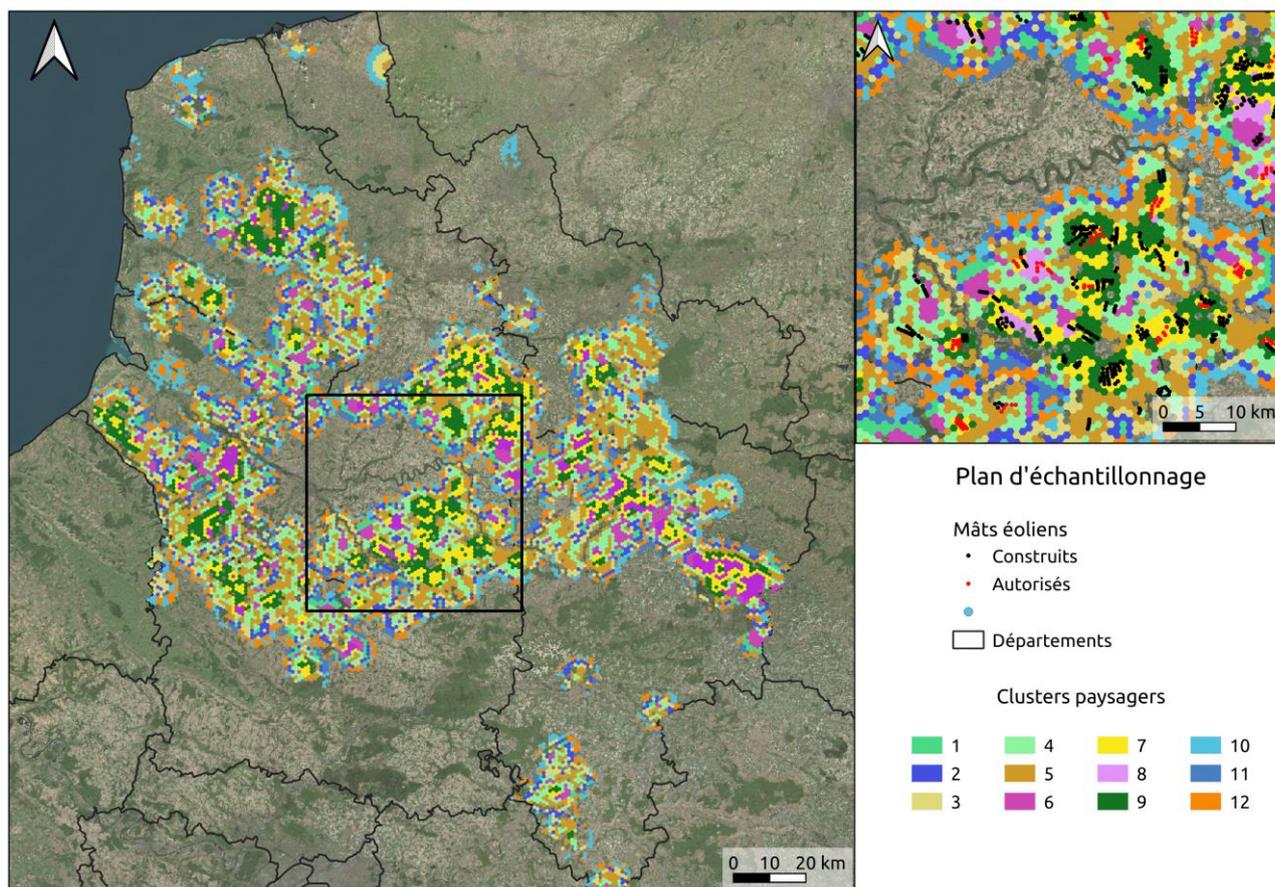


Figure 10. Répartition spatiale des mailles en fonction de leurs clusters paysagers (2021)

• **Étape 4 : Sélection des mailles à échantillonner**

Pour chacune des quatre classes de chaleur conservées et chacune des trois classes de contextes paysagers, 10 mailles pour les suivis ornithologiques sont sélectionnées selon les critères suivants :

- la présence de chiroptères afin d'appareiller les mailles des chiroptères et des oiseaux,
- la possibilité de réaliser les protocoles de mesures (distances aux mâts, âge des éoliennes, présence de haie,...), et
- l'accessibilité du terrain (distance aux accès, capacité à accueillir les enregistreurs SM4 ou possibilité de faire des IPA, distance inter-maille à prospecter, ...).

Afin de garantir qu'au moins 120 mailles soient utilisées pour l'analyse statistique, 30 grilles supplémentaires ont été ajoutées. Au total, 150 mailles ont donc été sélectionnées manuellement pour l'échantillonnage annuel.

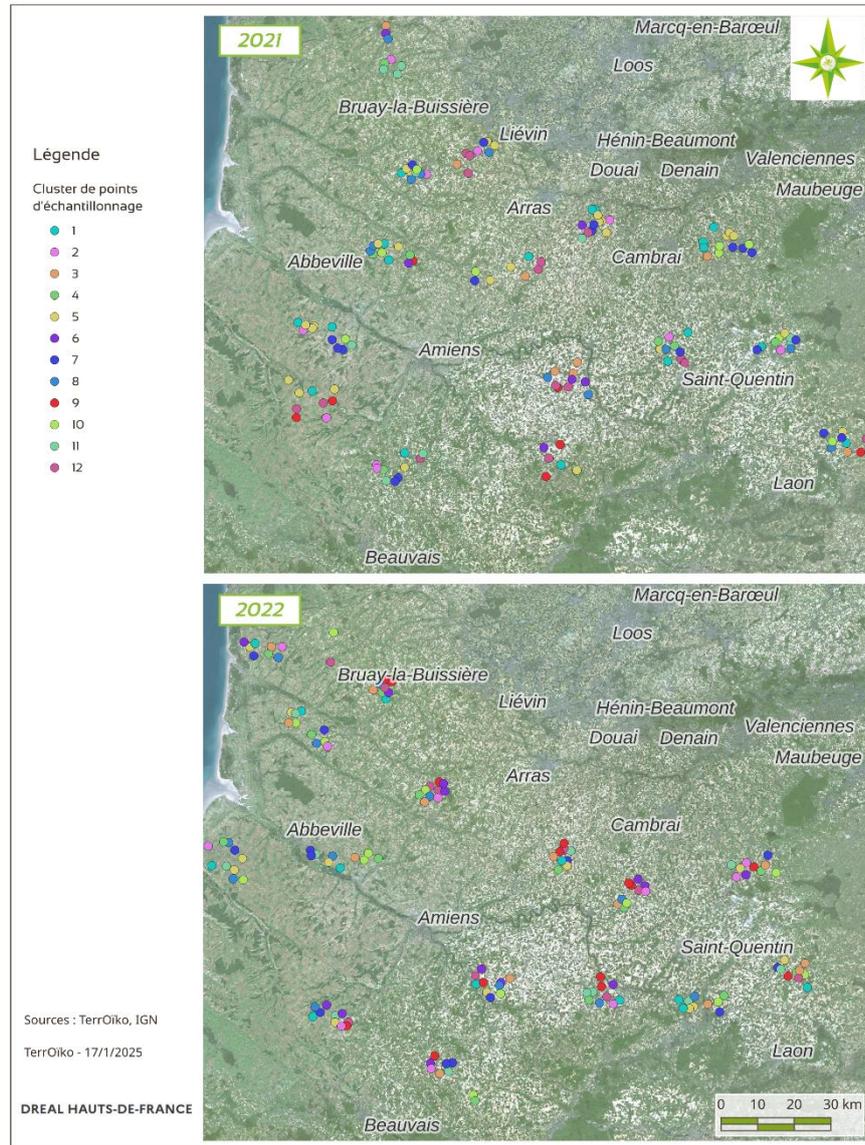


Figure 11. Plan d'échantillonnage pour 2021 et 2022

• **Étape 5 : Planning d'échantillonnage**

Une fois les mailles à échantillonner pour une année sélectionnée, un calendrier de réalisation et des itinéraires ont été établis pour rendre aléatoire (« *randomiser* ») autant que possible la réalisation des IPA et des enregistrements acoustiques dans le temps et l'espace. Un calendrier de réalisation des sessions (groupes de mailles à échantillonner) a été réalisé par Auddicé Biodiversité ainsi qu'un ordre de réalisation des IPA au sein de chaque session. L'ordre de déploiement des enregistreurs acoustiques suit la même logique de session.

Il est à noter que en 2022 les périodes d'inventaires pour les chiroptères son plus courtes de par la modification de la méthodologie. De plus, les inventaires sont avancés de 5 à 6 jours pour éviter les périodes de pleine lune. De ce fait, ils se terminent 10 à 11 jours avant ceux de 2021 (Tableau 3).

Tableau 3. Dates des différentes prospections 2021 et 2022

	2021	2022	Nb de jours de décalage 2022/2021
IPA 1er passage	14, 16, 19, 20 et 21 avril	20, 21, 22, 26 et 27 avril	5 j
IPA 2ème passage	20, 21, 25, 27 et 28 mai	18, 19, 20, 24 et 25 mai	2 j
Enregistreur chiroptère 1er passage	28 juin au 21 juillet	22 juin au 11 juillet	Début 6 j / fin 10 j
Enregistreur chiroptère 2ème passage	27 août au 20 septembre	22 août au 09 septembre	Début 5 j / fin 11 j

- **Étape 6 : Actualisation annuelle**

Chaque début d'année pour laquelle une campagne de terrain est prévue, les données sont actualisées (base de données éolienne, RPG, etc.) et les caractéristiques des mailles réévaluées. Les mailles sont dès lors affectées aux différents clusters paysagers de référence (ceux retenus en 2021) et l'intégralité de la procédure de sélection des mailles à échantillonner effectuée de nouveau.

3.3.2 Trajectométrie

La localisation des radars doit être 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...

Ces éléments sont pris en compte, avec la totalité des contraintes (fréquentation du public, accord des propriétaires, données biologiques, avis du client...).

Il est aussi essentiel de connaître les échéances de construction des parcs éoliens dans la zone à étudiée.

Le secteur entre Saint Quentin et Amiens semblait plutôt favorable à l'installation du radar car l'absence de relief n'induirait pas d'échos de sol, et la zone déjà pourvue en parc éolien tend à se densifier dans les années à venir.

Ainsi, le radar en bande S pourra couvrir : une zone avec un parc déjà construit, une zone avec un parc à venir, une zone sans éolienne aujourd'hui et dans les 3 prochaines années.

Les radars ont ainsi été installés dans la Distillerie d'Hautefeuille à Beaucourt-en-Santerre.

3.4 Méthodologie de l'analyse des données

3.4.1 Diversité et abondance

3.4.1.1 Principe général de l'analyse

L'ensemble des analyses conduites dans cette étude relèvent du même principe général. Il s'agit d'expliquer la diversité spécifique en oiseaux ou chiroptères ou leurs abondances en fonction de la densité d'éoliennes, en prenant en compte des paramètres paysagers, météorologiques ou des méthodes d'échantillonnage susceptibles de masquer ou déformer la relation d'intérêt. La relation caractérisant, s'il existe, l'effet de la densité d'éoliennes sur les diversités et abondances d'oiseaux ou chiroptères est donc estimée à l'aide de modèles linéaires (Zuur et al. 2009b).

3.4.1.2 Construction des jeux de données

Les données issues du terrain ont permis d'estimer pour chaque maille échantillonnée :

- La diversité d'oiseaux et de chiroptères les fréquentant ;
- L'abondance d'oiseaux et chiroptères les fréquentant (à noter qu'il ne s'agit pas d'abondances absolues mais de proxys basés sur le nombre de contacts visuels ou enregistrés par nuit).

Ces données d'observations sont enrichies de données environnementales caractéristiques de la maille (Tableau 4) ainsi que des données relatives aux conditions d'observation (Tableau 5).

Tableau 4. Variables environnementales caractéristiques des mailles échantillonnées. Les variables marquées d'un astérisque ont subi une normalisation par la racine carrée

Variable	Description	Unités	Source
Heat*	Densité d'éoliennes		BDD DREAL
Area_Forest*	Surface couverte par des boisements ou forêts	m ²	BD FORET (IGN)
Area_Water*	Surface couverte par des lacs, étangs, ou mares	m ²	BD TOPO (IGN)
Area_Agri*	Surface couverte par des cultures	m ²	RPG (IGN)
Light	Intensité de la pollution lumineuse diffuse	mag/arcsec ²	DarkSkyLab
Hedgerow_type	Type de haie	Friche arbustive ; Boisement ; Haie ;	Terrain Auddicé

		Boisement et Haie	
Hedgerow_length*	Longueur de haie dans les 200m autour du point de mesure	m	Terrain Auddicé
Wood_Coverage_200m*	Surface couverte par des boisements ou forêts dans un rayon de 200 m autour de la maille	%	BD FORET (IGN)

Tableau 5. Variables caractéristiques des conditions d'observations des mailles échantillonnées. Les variables marquées d'un astérisque ont subi une normalisation par la racine carrée

Variable	Description	Unités	Source
Wind_strength	Vitesse du vent lors de l'observation à chaque passage	m/s	Terrain Auddicé
Wind_dir	Direction du vent lors de l'observation à chaque passage	S/N/E/O	Terrain Auddicé
Nebulosity	Couverture nuageuse lors de l'observation à chaque passage	%	Terrain Auddicé
Visibility	Visibilité lors de l'observation à chaque passage	m	Terrain Auddicé
Temperature	Température lors de l'observation à chaque passage	°C	Terrain Auddicé
Dist_eol*	Distance du point d'observation à l'éolienne la plus proche	m	BDD DREAL
Dist_Hydros*	Distance du point d'observation à la surface en eau la plus proche	m	BD TOPO (IGN)
Dist_Hydro*	Distance du point d'observation au point du réseau hydrographique le plus proche	m	BD TOPO (IGN)
Dist_Forest*	Distance du point d'observation à la forêt la plus proche	m	BD FORET (IGN)
Dist_Build*	Distance du point d'observation à la zone bâtie la plus proche	m	BD TOPO (IGN)
Dist_Road*	Distance du point d'observation à la route ou chemin le plus proche	m	BD TOPO (IGN)
Dist_Rail*	Distance du point d'observation au point du réseau ferroviaire plus proche	m	BD TOPO (IGN)

Dist_PowerLine*	Distance du point d'observation au point du réseau électrique le plus proche	m	BD TOPO (IGN)
Dist_Airport*	Distance du point d'observation à l'aéroport le plus proche	m	BD TOPO (IGN)

Les variables explicatives des diversités et abondances des groupes cibles de l'étude ont alors été restructurées en deux thèmes que sont le *paysage* et la *météo*.

Toutes les variables utilisées sont des variables quantitatives qui ont été transformées lorsque pertinent pour les normaliser. Pour toutes les variables transformées (marquées d'un astérisque dans les tableaux ci-dessus), c'est une normalisation par la racine carrée qui a été la plus pertinente.

3.4.1.3 Analyse multivariée et sélection des variables explicatives

Toutes les variables masquant ou déformant la relation entre diversité ou abondance et la densité d'éoliennes ne peuvent pas être intégrées en même temps dans un modèle linéaire. Il est donc nécessaire de réaliser préalablement une sélection de variables afin d'éliminer les variables portant une information redondante (colinéarité entre variables) et de ne conserver que celles portant le plus de diversité et présentant de préférence un sens biologique important.

Dans la mesure où toutes les variables sont des variables quantitatives, nous avons réalisé la sélection de variables à l'aide d'ACP (Analyses en Composantes Principales) sur les données *paysage* d'une part et de *météo* d'autre part puis vérifié que les variables sélectionnées par chacune de ces ACP n'étaient pas trop colinéaires en réalisant une troisième ACP avec l'ensemble des variables retenues.

Avec la base de données consolidée jusqu'en 2022, les variables retenues par cette méthode pour réaliser les modèles linéaires sont pour les descripteurs paysagers :

- la densité d'éoliennes (*Heat*)
- la surface forestière de la maille (*Area_Forest*)
- la longueur de haie dans les 200m autour du point de mesure (*Hedgerow_Length*)
- la surface en eau dans la maille (*Area_Water*)
- la distance du point d'enregistrement à la route ou chemin le plus proche (*Dist_Road*)
- l'intensité de la pollution lumineuse diffuse (*Light*)

Pour les descripteurs météorologiques :

- La température à chaque session (*Temperature*) : T1 pour 2021 et T2 pour 2022

En raison de leur capacité explicative, ces variables, en plus des dates d'échantillonnage, seront utilisées pour évaluer l'effet de la densité des éoliennes sur la diversité et l'abondance des oiseaux et des chiroptères sur les différentes mailles échantillonnées.

3.4.1.4 Modèles linéaires

Analyse de la diversité et de l'abondance des oiseaux et des chiroptères

Les diversités en oiseaux et en chiroptères suivent naturellement des distributions normales (Verberk 2011), elles ne nécessitent donc pas d'être transformées pour le modèle linéaire. Au contraire, les abondances subissent une transformation logarithmique afin de suivre une distribution normale.

Pour chaque taxon (oiseaux et chiroptères), les effets des variables paysagères et météorologiques sur la diversité et l'abondance sont testées en utilisant un modèle de régression linéaire sans effet aléatoire et un modèle linéaire mixte avec effets aléatoires de la date d'échantillonnage au sein de chaque session et de l'année d'échantillonnage (2021 ou 2022). Il y a donc un total de huit modèles complets. Pour chacun de ces modèles complets, les variables paysagères et météorologiques ayant un effet significatif sont sélectionnées grâce à un processus de sélection de modèle qui teste de manière itérative des modèles comprenant des sous-ensembles de variables paysagères et météorologiques et qui choisit le meilleur modèle selon le critère d'information d'Akaike corrigé pour des petits échantillons (AICc) (Symonds and Moussalli 2011). La sélection de modèles à l'aide de l'AIC consiste à comparer plusieurs modèles statistiques en fonction de leur qualité relative. L'AIC pénalise les modèles qui comportent trop de variables, ce qui permet d'éviter le surajustement. Le modèle ayant la valeur AIC la plus faible est considéré comme le meilleur, ce qui permet d'équilibrer la qualité de l'ajustement et la complexité du modèle.

Par la suite, chaque taxon a été divisé en groupe d'espèces à caractéristiques similaires. Les mêmes modèles ont été appliqués à chaque groupe d'espèces afin de détecter des différences dans l'effet du paysage sur leur abondance et diversité découlant de leurs particularités. Les 5 groupes de chiroptères retenus sont les suivants : les Murins, les Noctules et Sérotines, les Oreillards et Barbastelles, les Pipistrelles et les Rhinolophes. Les 6 groupes d'oiseaux retenus sont les suivants : les Colombidés, les Corvidés, les Galliformes, les oiseaux marins (Laridés et cormorans), les passereaux et les rapaces. Le jeu de données contient aussi d'autres espèces comme des Anatidés, des échassiers et des limicoles pour lesquels il n'y a pas assez d'observations pour être analysés séparément.

À ce stade, le travail réalisé sur des données brutes est encore préliminaire vu la faible quantité d'observations. Quelle que soit la variable étudiée (V_e) (diversité ou abondance d'oiseaux ou chiroptères), le modèle complet oiseaux a été construit sous la forme :

$$V_e \sim \text{Temperature}_1 \times \text{Temperature}_2 \\ + \text{Heat} \times (\text{Area}_{\text{Water}} + \text{Area}_{\text{Forest}} + \text{Edgerow}_{\text{Length}} + \text{Dist}_{\text{Road}} + \text{Light}) + (1|\text{Date}_1) \\ + (1|\text{Date}_2) + (1|\text{Year})$$

Et le modèle complet chiroptères sous la forme :

$$V_e \sim \text{Heat} \times (\text{Area}_{\text{Water}} + \text{Area}_{\text{Forest}} + \text{Edgerow}_{\text{Length}} + \text{Dist}_{\text{Road}} + \text{Light}) + (1|\text{Date}_1) + (1|\text{Date}_2) \\ + (1|\text{Year})$$

Cette formulation permet de prendre en compte :

- les effets des températures lors de la réalisation des IPA (très lié à l'heure de réalisation ; modèles oiseaux seulement, la température n'est pas relevée lors des enregistrements SM4),
- les effets de l'ensemble des variables sélectionnées et leurs interactions avec la densité d'éoliennes (tous les modèles), et
- les effets aléatoires éventuels des dates de réalisation des IPA ou enregistrement et de l'année (appliqué seulement pour les modèles avec effets aléatoires).

N.B : les conditions météorologiques ont été enregistrées pour les IPA car la probabilité de détection des oiseaux dépend des conditions au moment de la réalisation de l'IPA. Concernant les SM4, la présence des chauves-souris dépend des conditions météo sur toute la période d'écoute (soit d'une heure avant le coucher jusqu'à une heure après le lever du soleil). Il aurait donc fallu avoir une station météo proche de chaque secteur d'étude ou déployer des sondes météo à chaque SM4 posé, ce qui n'était pas envisageable pour cette étude.

En raison de la quantité limitée de données disponibles, nous avons été contraints de construire les modèles les plus simples qui pouvaient encore répondre aux objectifs initiaux. Par conséquent, nous avons exclu les effets aléatoires de l'espèce. L'inclusion d'un trop grand nombre de variables dans le modèle lorsque les données sont rares peut entraîner plusieurs problèmes, tels que le surajustement, la réduction de la puissance statistique, les difficultés de convergence et un modèle qui est tout simplement plus difficile à interpréter.

3.4.2 Analyse des données radar

3.4.2.1 Principe général

L'analyse des trajectoires issues des données radar permet d'estimer l'effet de la densité d'éoliennes sur la trajectoire des oiseaux selon le groupe d'oiseaux. À partir des caractéristiques de détection radar, trois groupes d'oiseaux sont déterminés. Ces groupes sont un proxy de la taille des individus. L'effet de la densité d'éoliennes est estimé à l'aide d'un modèle de régression logistique conditionnelle qui estime, par trajectoire, les effets du paysage et des caractéristiques de la trajectoire sur les positions relevées des individus par rapport aux positions possibles aux alentours.

3.4.2.2 Descriptions des trajectoires et du paysage

Trois paramètres sont calculés afin de décrire les trajectoires :

- La distance parcourue entre chaque enregistrement,
- L'angle indiquant le changement de direction, exprimé en radian par rapport à la direction précédente (une valeur de 0 indique une absence de changement de direction, l'individu continue tout droit),
- La vitesse, c'est-à-dire la distance parcourue divisée par le temps entre chaque enregistrement.

Une distribution Gamma est ajustée aux distances et une distribution de Von Mises (connue également comme distribution normale circulaire) est ajustée aux angles pour chaque groupe d'oiseaux.

Les variables de paysage retenues pour l'analyse sont les mêmes que pour l'analyse de diversité et d'abondance mais à l'échelle de mailles de 20 m afin de détecter des différences fines d'environnement entre chaque enregistrement d'une même trajectoire.

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

- Oiseaux d'une envergure supérieure à 150 cm ;
- Oiseaux d'une envergure comprise entre 50 cm et 150 cm ;
- Oiseaux d'une envergure inférieure à 50 cm.

Les trajectoires sont issues d'un même mat radar situé au Sud-Est d'Amiens. Leur emprise recouvre quelques sites IPA 2022 (Figure 12).

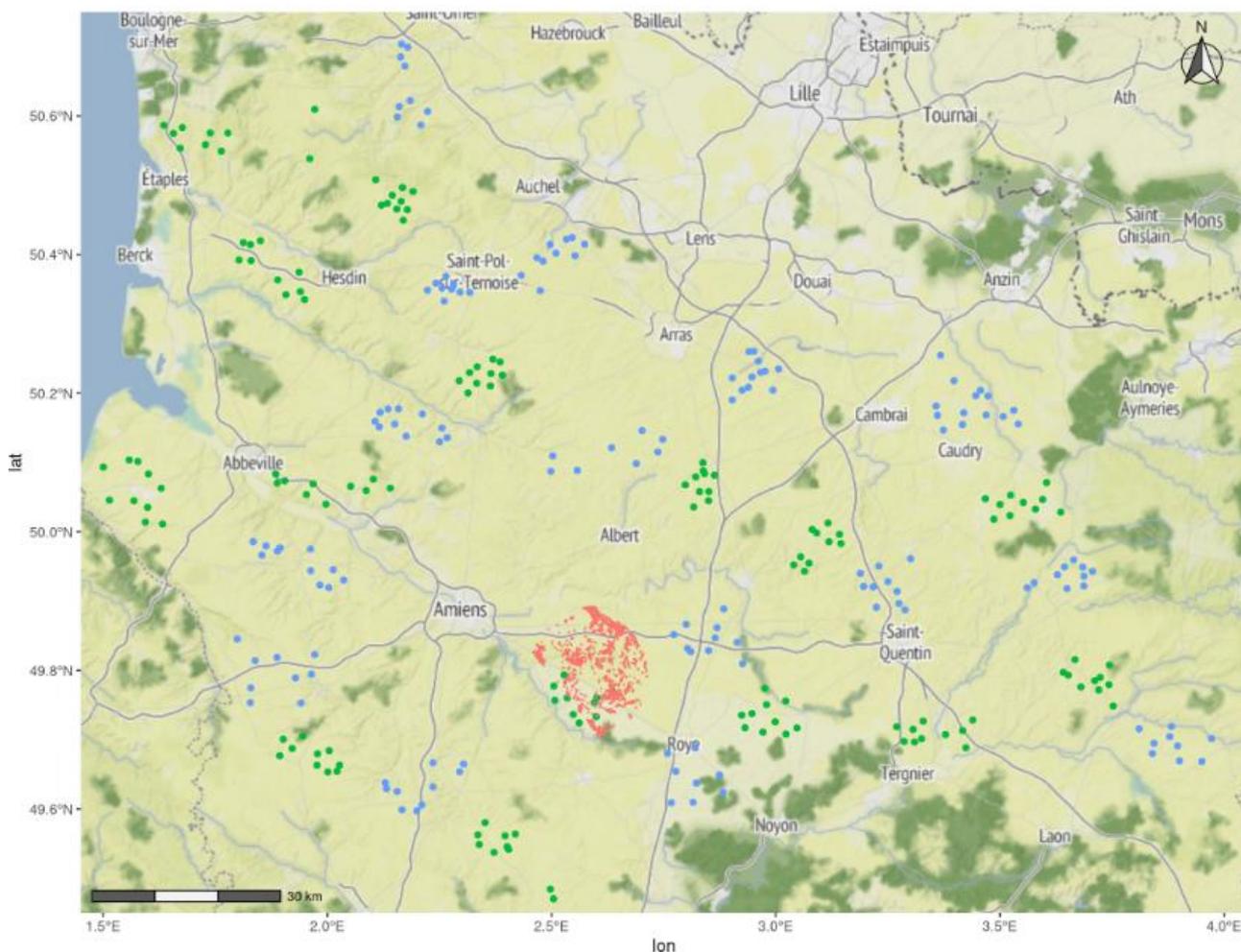


Figure 12. Carte de la localisation des trajectoires radar (rouge) selon les sites IPA 2021 (bleu) et 2022 (vert) dans les Hauts-de-France

3.4.2.3 Analyse de trajectométrie

Pour chaque pas effectué au sein d'une même trajectoire (c'est-à-dire pour chaque enregistrement radar), 10 pas potentiels sont déterminés à partir de la position précédente (= origine) et des distributions de distances et d'angles ajustées par groupe d'oiseaux.

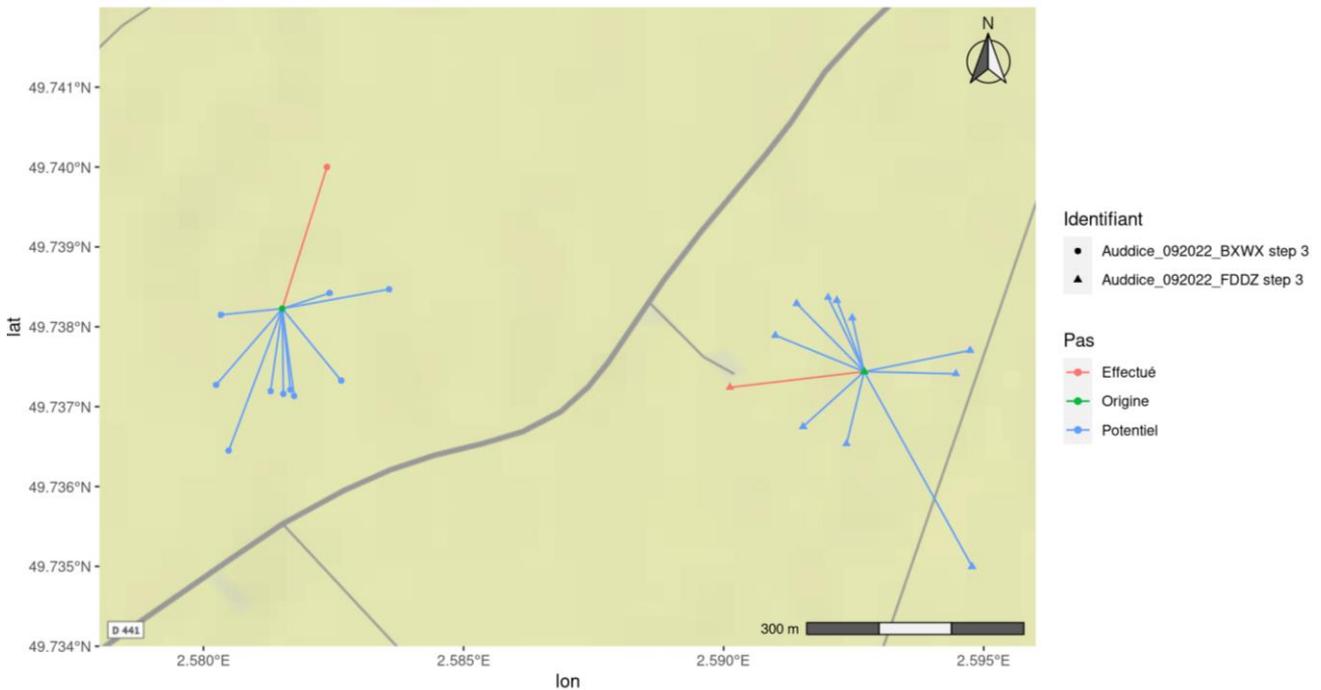


Figure 13. Exemple de pas effectué et de pas potentiels déterminés à partir de la position d'origine et des distributions de distances et d'angles ajustées par groupe d'oiseaux

Les valeurs des variables de paysage, y compris la densité d'éoliennes (chaleur) indiquée ci-dessous comme *Heat*, sont extraites pour toutes les positions (effectuées ou potentielles) afin de pouvoir détecter si le paysage a un impact sur la trajectoire choisie.

Le modèle est de la forme suivante :

$$Position \sim Heat \times (StepLength + TurnAngle + Vitesse + \log(StepLength) + \cos(TurnAngle) + strata(StepID))$$

Il est ajusté à chaque trajectoire et les résultats sont résumés par groupe d'oiseaux.

CHAPITRE 4. RESULTATS ET DISCUSSION (2021 ET 2022)

4.1 Récapitulatif de l'échantillonnage

La distribution des points d'échantillonnage en 2021 et 2022 pour les mesures de la diversité et d'abondance des oiseaux et des chauves-souris est présentée dans la Figure 14. Pour chaque point d'échantillonnage, les protocoles IPA et SM4 sont effectués. Les cartes détaillées par site des plans d'échantillonnage pour 2021 et 2022 sont également mises en Annexes.

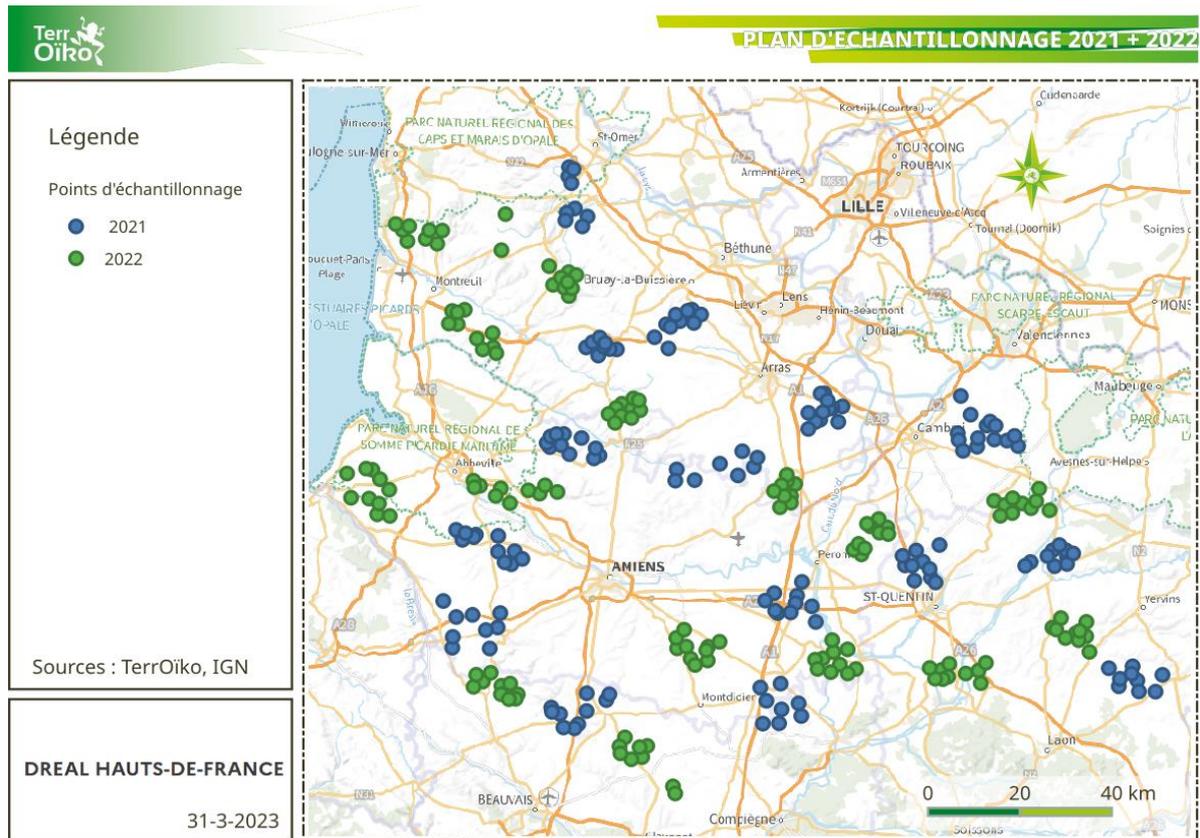


Figure 14. Plan d'échantillonnage IPA et SM4

En raison de problèmes techniques et logistiques, tous les points d'échantillonnage n'ont pas fourni de données exploitables. Le Tableau 6 montre le nombre de points qui ont produit des données utiles pour l'analyse par rapport au nombre de points échantillonnés à l'origine.

Tableau 6. Bilan des échantillonnages IPA et SM4

	2021		2022	
	Réalisés	Exploitables	Réalisés	Exploitables
IPA	122	117	120	113
SM4	114	98	118	109

4.2 Effet de l'accumulation d'éolienne sur l'avifaune

4.2.1 Diversité en oiseaux

4.2.1.1 Résultats des analyses

Le modèle sélectionné montre que la diversité d'oiseaux est affectée positivement par :

- la surface boisée de la maille,
- la surface en eau de la maille,
- l'intensité de la pollution lumineuse diffuse (qui peut être interprétée comme la surface urbanisée des mailles d'après la sélection de variables).

Au contraire, cette diversité est réduite lorsque :

- la densité d'éoliennes et la surface en eau des mailles augmentent,
- la densité d'éoliennes et la surface urbanisée des mailles augmentent.

La relation entre diversité d'oiseaux et densité d'éoliennes est présentée en Figure 15.

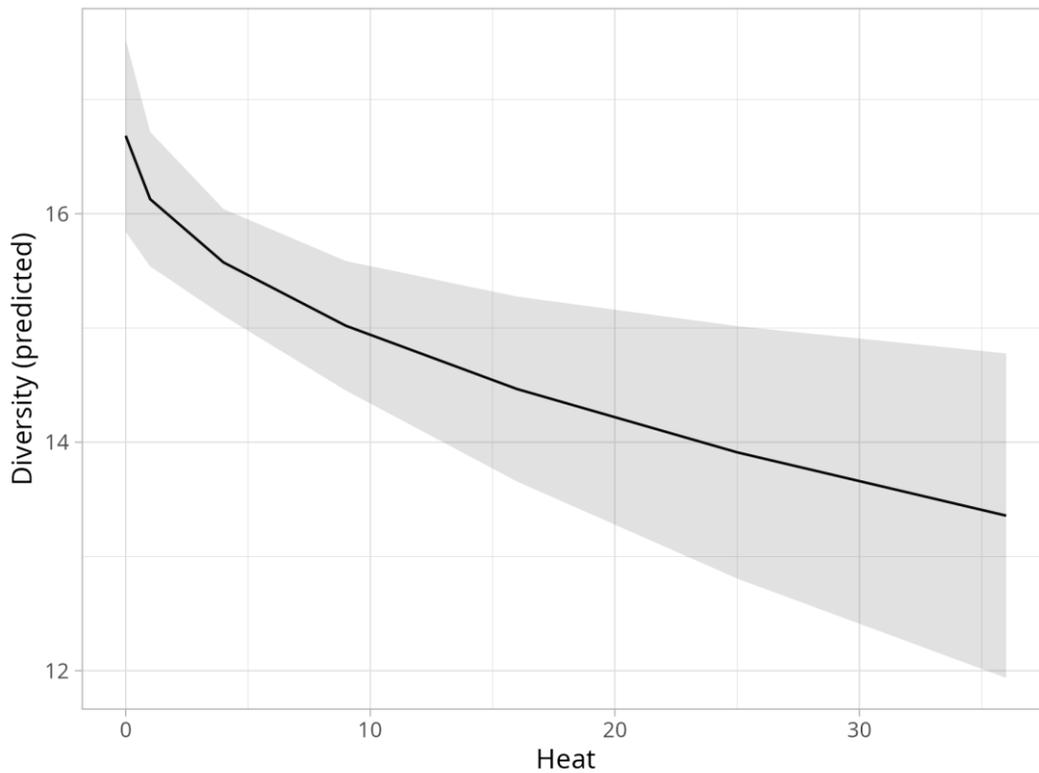


Figure 15. Effet de la densité d'éoliennes sur la diversité ornithologique des espaces agricoles des Hauts-de-France

Le modèle sélectionné présente des résidus normalement distribués et plutôt bien répartis, les résultats qui découlent de ce modèle sont donc robustes (Annexe 6).

Lorsque les analyses sont reproduites pour chaque groupe d'oiseaux (Tableau 7), l'effet négatif de la densité d'éoliennes sur la diversité ornithologique n'est retrouvé que pour les passereaux. L'effet de l'intensité de la pollution lumineuse diffuse est négatif pour les Colombidés et les oiseaux marins mais est positif pour les passereaux et les rapaces.

Tableau 7. Résumé de l'effet des variables de paysage sur la diversité ornithologique des espaces agricoles des Hauts-de-France par groupe d'espèces

Groupe d'espèces	Modèle	Variables retenues	Direction de l'effet
Colombidés	Sans effets aléatoires	Hedgerow_length	+
		Light	-
Corvidés	Sans effets aléatoires	Temperature1	-
Galliformes	Sans effets aléatoires	/	
Oiseaux marins	Sans effets aléatoires	Light	-
Passereaux	Avec effets aléatoires	Area_Forest	+
		Area_Water	+
		Light	+
		Heat	-
Rapaces	Sans effets aléatoires	Temperature2	+
		Light	+

4.2.1.2 Principales conclusions

L'effet de la densité d'éoliennes sur la diversité ornithologique en milieu agricole est significatif et semble être dépendant du contexte paysager. Il semble à l'analyse préliminaire de ces résultats que c'est l'accumulation d'éoliennes dans des contextes de proximité urbaine ou de surface en eau qui réduit la diversité des espèces observées.

Ces travaux ne permettront pas d'identifier s'il s'agit d'un impact dû à la mortalité d'individus et un effet sur la population ou s'il s'agit d'un comportement d'évitement de certaines espèces lorsque la densité d'éoliennes augmente (perte d'habitat utilisable par certaines espèces).

L'analyse par groupe d'espèces semble montrer que l'effet de la densité d'éoliennes sur la diversité n'est présent que chez les passereaux. Cependant, il est à noter que les valeurs de diversité sont beaucoup plus importantes pour les passereaux que pour les autres groupes (diversité moyenne au point d'observation de 10 espèces pour les passereaux mais de seulement une espèce pour les autres groupes). Les très faibles valeurs de diversité pour les groupes autres que les passereaux diminuent grandement la robustesse de ces analyses.

4.2.2 Abondance d'oiseaux

4.2.2.1 Résultats des modèles

Le modèle sélectionné montre que l'abondance d'oiseaux est affectée positivement par :

- l'intensité de la pollution lumineuse diffuse (qui peut être interprétée comme la surface urbanisée des mailles d'après la sélection de variables).
-

Au contraire, cette diversité est réduite lorsque :

- la température de réalisation des IPA pour les espèces précoces augmente (IPA réalisés plus tard dans les journées favorables),
- la densité d'éoliennes augmente.

La relation entre abondance d'oiseaux et densité d'éoliennes est présentée en Figure 16.

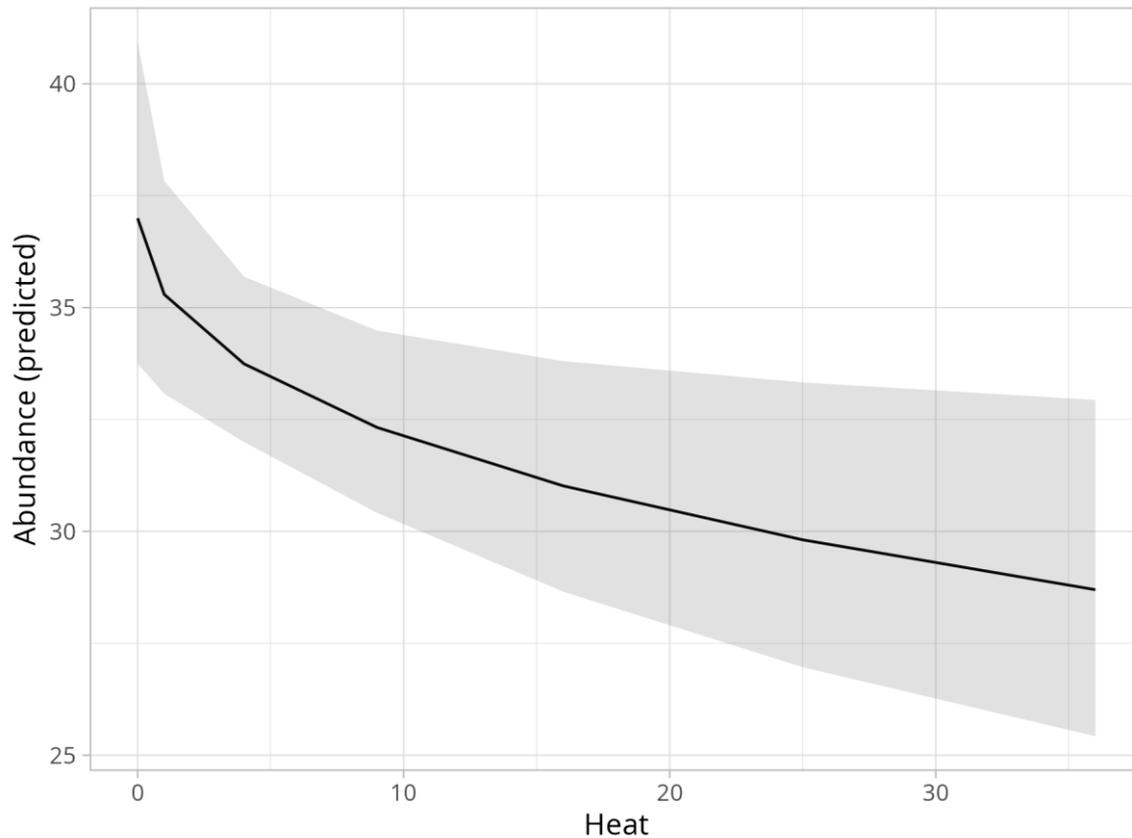


Figure 16. Effet de la densité d'éoliennes sur l'abondance d'oiseaux des espaces agricoles des Hauts-de-France

Le modèle complet présente des résidus normalement distribués et plutôt bien répartis. Sans être parfait, ce modèle est déjà de bonne qualité et les résultats qui en découlent sont assez robustes (Annexe 6).

Lorsque les analyses sont reproduites pour chaque groupe d'oiseaux (Tableau 8), les résultats pour les passereaux sont très similaires à ceux de l'analyse globale. Comme pour l'analyse par groupe sur la diversité, l'effet de la densité d'éoliennes sur l'abondance ne se retrouve que chez les passereaux.

Tableau 8. Résumé de l'effet des variables de paysage sur l'abondance en oiseaux des espaces agricoles des Hauts-de-France par groupe d'espèces

Groupe d'espèces	Modèle	Variables retenues	Direction de l'effet
Colombidés	Sans effets aléatoires	Hedgerow_length Light	+ -
Corvidés	Sans effets aléatoires	Area_Water_sqrt Light	- -
Galliformes	Avec effets aléatoires	/	
Oiseaux marins	Avec effets aléatoires	/	
Passereaux	Avec effets aléatoires	Temperature1 Light Heat	- + -
Rapaces	Sans effets aléatoires	Area_Water_sqrt	-

4.2.2.2 Principales conclusions

Sans faire de distinction d'espèces, **l'effet cumulatif des éoliennes réduit significativement l'abondance des oiseaux**. L'analyse des résultats semble montrer que cet effet est indépendant du contexte paysager. Suite à l'analyse par groupe d'espèces, il est clair que cette réponse est le reflet de la surreprésentation des passereaux en termes d'abondance des individus dans les données collectées sur le terrain. Ainsi, si l'effet négatif du cumul d'éoliennes sur l'abondance est significatif et sa forme qualifiée, il est probable que des différences plus marquées entre groupe d'espèces existent et soient détectables dans un jeu de données augmenté, si une nouvelle campagne de terrain est menée.

4.2.3 Trajectométrie

4.2.3.1 Caractéristiques des trajectoires radar

Une grande partie des trajectoires se trouve au Nord de l'A29 qui est juste au sud de la vallée de Somme et ses abords (Figure 17). Il y a 1499 trajectoires au total et 902 trajectoires utilisables pour l'analyse, c'est-à-dire avec au moins quatre pas/cinq positions (Tableau 9). Elles sont réparties sur trois jours : les 15, 26 et 27 septembre 2022.

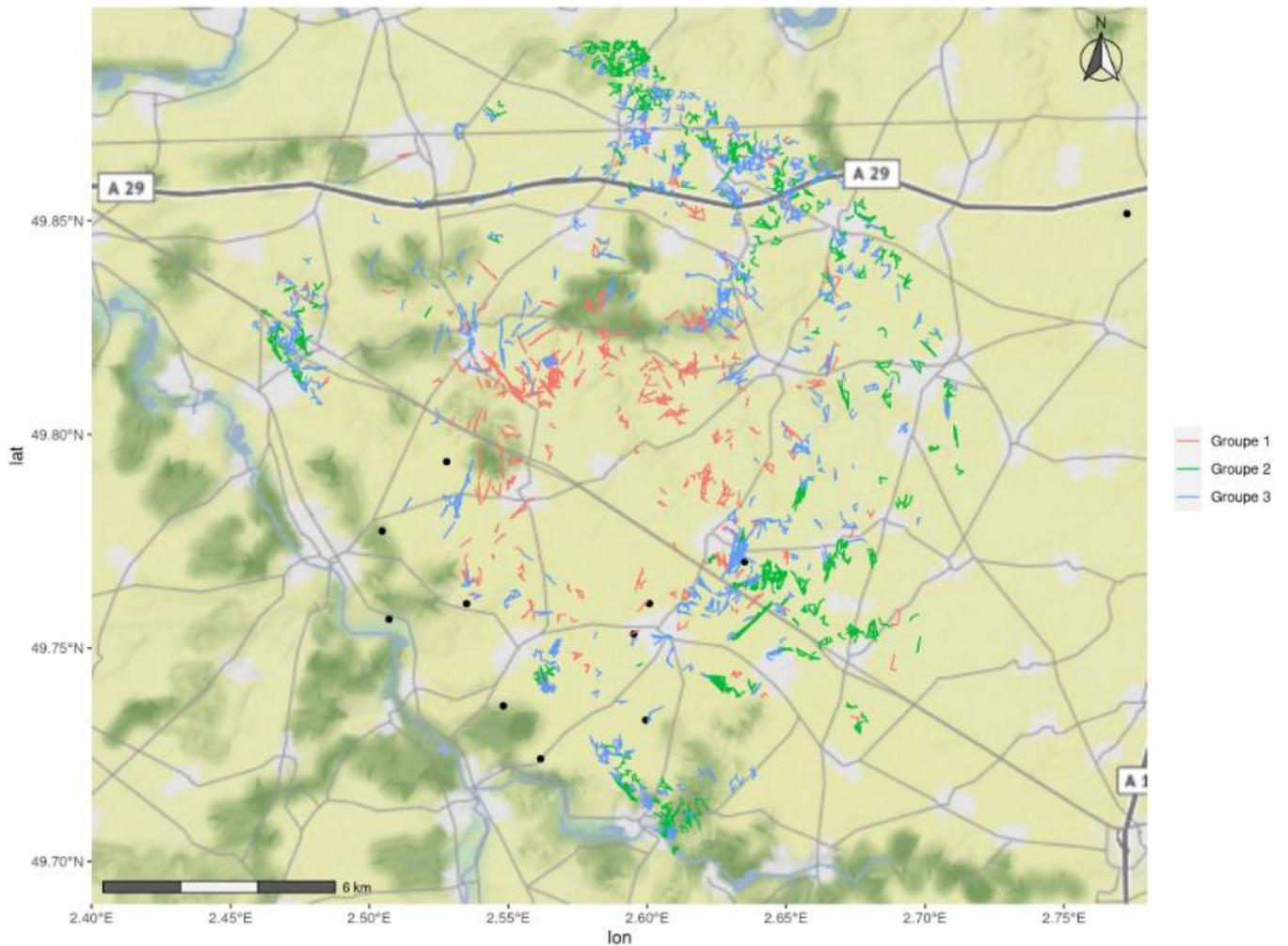


Figure 17. Carte de la localisation des trajectoires radar par groupe d'oiseaux dans les Hauts-de-France

Tableau 9. Nombre de trajectoires radar par groupe d'oiseaux

Groupe d'oiseaux	Nombre de trajectoires	de	Nombre de trajectoires utilisables (= avec au moins 4 pas)
Groupe 1 (oiseaux de taille supérieure à 150 cm)	422		207
Groupe 2 (oiseaux de taille comprise entre 50 et 150 cm)	442		313
Groupe 3 (oiseaux de taille inférieure à 50 cm)	635		382
Total	1499		902

Le pas de temps moyen entre les enregistrements de chaque trajectoire est de 8 secondes en moyenne. Les distances totales parcourues entre chaque enregistrement radar sont similaires entre les groupes d'oiseaux : 111 m (± 51 m) pour le groupe 1, 135 m (± 49 m) pour le groupe 2 et 129 m (± 50 m) pour le groupe 3 (Annexe 7).

Les angles représentant les changements de direction sont aussi très similaires entre groupes d'oiseaux avec une moyenne de 0, c'est-à-dire une persistance forte de la direction (Annexe 7). Le groupe 1 semble avoir une persistance de direction la plus importante au vu du surplus de valeur 0 par rapport aux autres groupes et le groupe 2 la moins importante mis en évidence par les valeurs intermédiaires plus fréquentes par rapport aux autres groupes.

Les vitesses entre chaque enregistrement radar sont de 11,8 m/s ($\pm 6,1$) pour le groupe 1, 15,1 m/s ($\pm 6,5$) pour le groupe 2 et 14,0 m/s ($\pm 6,5$) pour le groupe 3 (Annexe 7).

4.2.3.2 Analyse de trajectométrie

Une grande partie des trajectoires détectées ne se trouvaient pas dans les clusters d'échantillonnage. De même, les mailles de 1 km initialement choisis étaient trop grossières pour détecter de fines différences de paysage au sein d'une même trajectoire (Figure 18). Pour ces raisons, les variables paysagères ont été recompilées sur des mailles de 20 m. Ceci implique que la relation entre les trajectoires et l'analyse de la diversité et de l'abondance des oiseaux n'est pas directe.

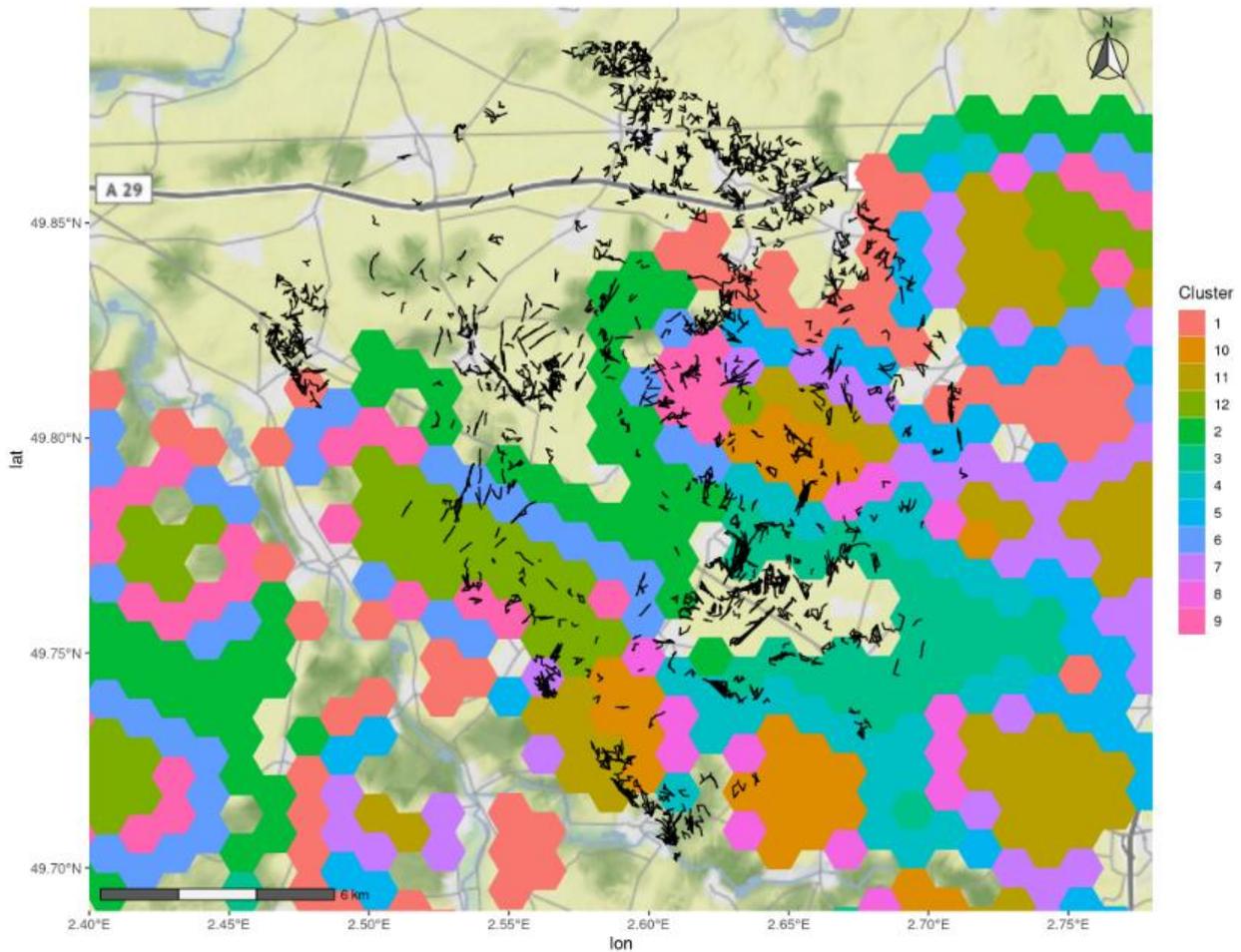


Figure 18. Carte de la localisation des trajectoires radar dans les Hauts-de-France en fonction des clusters d'échantillonnage IPA pour les oiseaux (mailles de 1 km)

En tenant compte de ces contraintes, à ce stade de l'analyse, aucun effet de la densité des éoliennes sur les trajectoires de déplacement des oiseaux n'est détecté (Figure 19). Il n'y a pas non plus d'effet différencié sur les trajectoires de la densité d'éoliennes en fonction de la distance parcouru, du changement de direction et de la vitesse. L'Annexe 7 montre en détail l'absence d'effet sur chacun des composants.

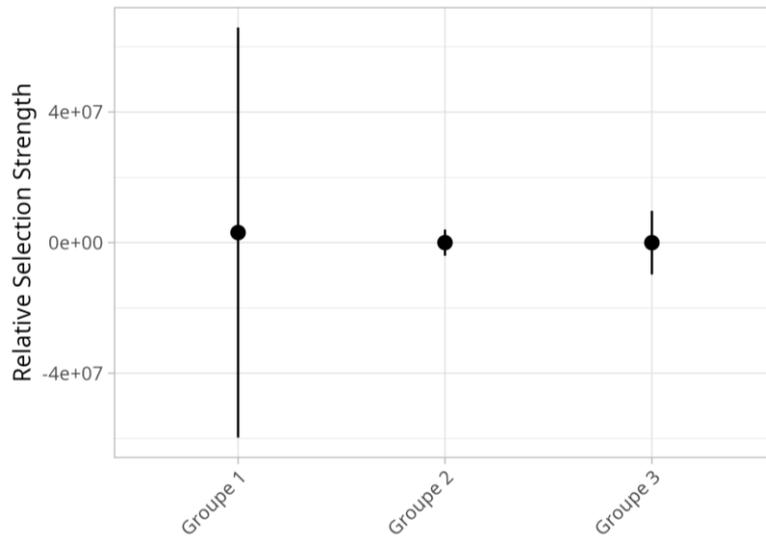


Figure 19. Effets non significatifs de la densité d'éoliennes sur les trajectoires des oiseaux par groupe d'oiseaux

4.3 Résultats des inventaires chiroptérologiques (2021 et 2022)

4.3.1 Diversité en chiroptères

4.3.1.1 Résultats des modèles

Le modèle sélectionné montre que la diversité de chiroptères est affectée positivement par :

- l'intensité de la pollution lumineuse diffuse (qui peut être interprétée comme la surface urbanisée des mailles d'après la sélection de variables)
- la surface en eau de la maille.

La relation entre diversité de chiroptères et densité d'éoliennes, bien que non significative, est présentée en Figure 20.

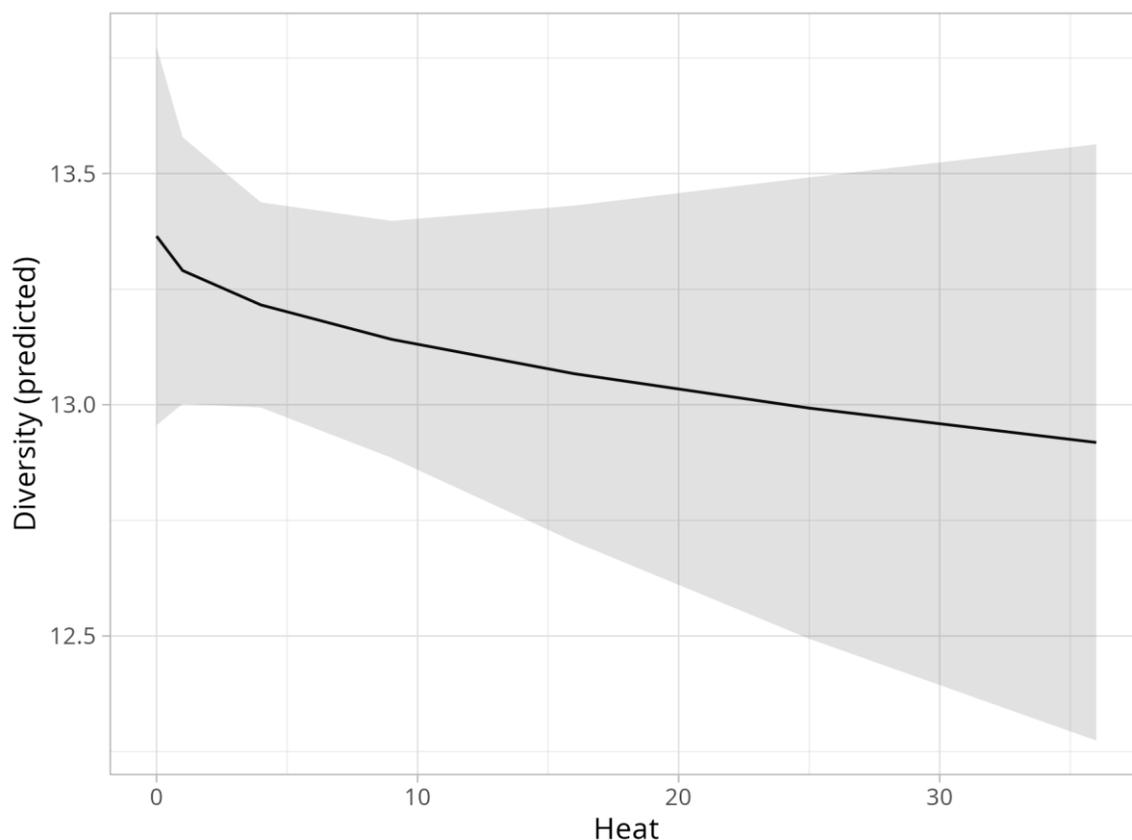


Figure 20. Effet non significatif de la densité d'éoliennes sur la diversité de chiroptères des espaces agricoles des Hauts-de-France

Le modèle complet présente des résidus normalement distribués et plutôt bien répartis (Annexe 8). Ce modèle est déjà de très bonne qualité et les résultats qui en découlent sont robustes.

Lorsque l'analyse est reproduite par groupe d'espèces, la surface en eau ou en forêt des mailles a un effet positif sur la diversité en chiroptères sauf pour les Noctules et Sérotines où il n'y a pas d'effet (Tableau 10). La diversité en espèces de Murins augmente avec l'intensité de la pollution lumineuse diffuse.

Tableau 10. Résumé de l'effet des variables de paysage sur la diversité en chiroptères des espaces agricoles des Hauts-de-France par groupe d'espèces

Groupe d'espèces	Modèle	Variables retenues	Direction de l'effet
Murins	Avec effets aléatoires	Area_Forest	+
		Light	+
Noctules et sérotines	Avec effets aléatoires	/	
Oreillards et barbastelles	Avec effets aléatoires	Area_Forest	+
Pipistrelles	Avec effets aléatoires	Area_Water	+
Rhinolophes	Sans effets aléatoires	Area_Water	+

4.3.1.2 Principales conclusions

À ce stade de l'analyse, **le cumul d'éoliennes** en milieu agricole **ne présente pas d'effet significatif sur la diversité des chiroptères**. L'analyse par groupe d'espèces ne détecte pas non plus d'effets de la densité d'éoliennes sur la diversité des chiroptères. La diversité en chiroptères semble être principalement affectée par la surface disponible en eau ou en forêt.

4.3.2 Abondance de chiroptères

4.3.2.1 Résultats des modèles

Le modèle sélectionné montre que l'abondance de chiroptères est affectée positivement par :

- la surface en eau de la maille.

Au contraire, cette abondance est réduite lorsque :

- la surface boisée de la maille augmente.

La relation entre abondance de chiroptères et densité d'éoliennes, bien que non-significative, peut être représentée tel que présenté en Figure 21

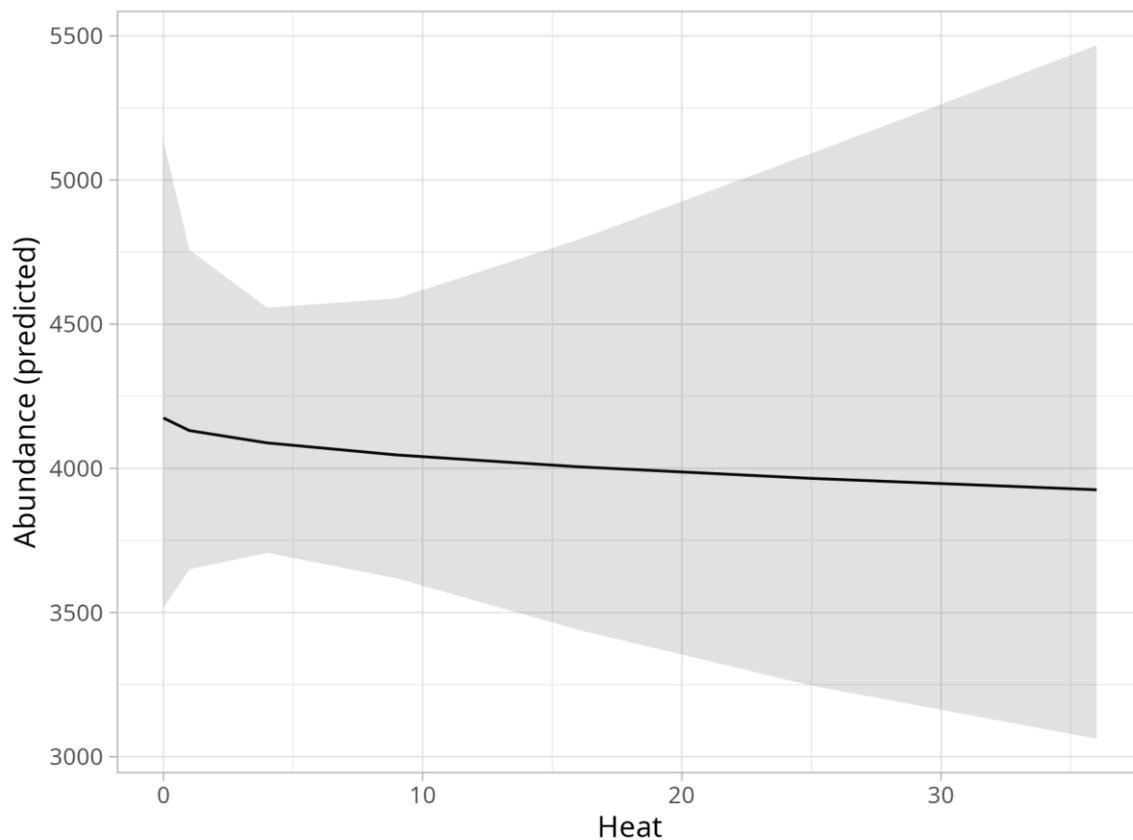


Figure 21. Effet non-significatif de la densité d'éoliennes sur l'abondance de chiroptères des espaces agricoles des Hauts-de-France

Le modèle complet présente des résidus normalement distribués et plutôt bien répartis. Sans être parfait, ce modèle est déjà de très bonne qualité et les résultats qui en découlent sont assez robustes (Annexe 8).

Lorsque l'analyse est reproduite par groupe d'espèces, comme pour la diversité en chiroptères, les surface en eau ou en forêt ont un effet sur l'abondance de chiroptères (Tableau 11). Aucun effet du paysage sur l'abondance n'est détecté pour les Noctules, Sérotines et les Oreillards et Barbastelles. L'abondance de Murins augmente avec la surface en eau. L'abondance de Pipistrelles diminue avec la surface en forêt alors que l'abondance de Rhinolophes augmente avec celle-ci.

Tableau 11. Résumé de l'effet des variables de paysage sur l'abondance en chiroptères des espaces agricoles des Hauts-de-France par groupe d'espèces

Groupe d'espèces	Modèle	Variabiles retenues	Direction de l'effet
Murins	Sans effets aléatoires	Area_Water	+
Noctules et sérotines	Sans effets aléatoires	/	
Oreillards et barbastelles	Avec effets aléatoires	/	
Pipistrelles	Sans effets aléatoires	Area_Forest	-
Rhinolophes	Sans effets aléatoires	Area_Forest	+

4.3.2.2 Principales conclusions

À ce stade de l'analyse, **le cumul d'éoliennes** en milieu agricole **ne présente pas d'effet significatif sur l'abondance des chiroptères**. Ces résultats sont probablement très déséquilibrés par les abondances très élevées de Pipistrelles. Sur ce jeu de données partiel, l'analyse par groupe d'espèces ne permet pas plus de détecter un effet de la densité d'éoliennes sur l'abondance de chiroptères.

4.4 Perspectives pour la suite de l'analyse

Les modèles de diversité et abondance pour les oiseaux et les chiroptères pourront être améliorés avec l'augmentation du jeu de données utilisables à la suite d'une éventuelle campagne de terrain future. Cet apport de données devrait permettre de confirmer les résultats déjà obtenus à l'échelle globale et d'affiner les modèles par espèce/gilde.

Il est important de souligner que l'utilisation de groupes d'espèces, comprenant des espèces aux habitudes écologiques variées, peut présenter des difficultés. Toutefois, en raison de la disponibilité limitée des données, l'analyse a été réalisée au niveau des groupes plutôt qu'au niveau des espèces. Une fois que le jeu de données aura été augmenté par une nouvelle campagne de terrain, une réflexion plus poussée sur la structure des modèles, en utilisant un regroupement différent des espèces ou même des analyses par espèce, devrait permettre conduire à une analyse plus robuste.

CHAPITRE 5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

5.1 Conclusions

À ce stade de l'étude, les résultats sont les suivants :

Pour les oiseaux :

- Plus la densité d'éoliennes est élevée, plus la diversité d'espèces d'oiseaux diminue ;
- Plus la densité d'éoliennes est élevée, plus l'abondance d'oiseaux diminue,
- Pas d'effet significatif de la densité d'éoliennes sur les trajectoires des oiseaux.

Pour les chiroptères :

- Pas d'effet significatif de la densité d'éoliennes sur la diversité d'espèces de chiroptères ;
- Pas d'effet significatif de la densité d'éoliennes sur l'abondance de chiroptères.

Ces résultats sont significatifs pour les analyses faites sur l'ensemble des espèces.

Si l'on affine ces résultats, l'analyse par groupe d'espèces montre que plus la densité d'éoliennes est élevée, plus la diversité d'oiseaux diminue, mais ceci uniquement pour les passereaux. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que le groupe des passereaux comprend un nombre plus important d'espèces, par rapport aux autres groupes. Ce résultat est le même concernant l'effet de la densité d'éoliennes sur l'abondance en fonction des groupes d'espèces d'oiseaux, qui se vérifie uniquement pour les passereaux.

Il faut également noter que la diversité d'oiseaux est corrélée à différents facteurs : la surface boisée, la surface en eau, la surface urbanisée. L'abondance d'oiseaux est quant à elle corrélée à la surface urbanisée, et à la température.

Concernant la diversité de chiroptères, celle-ci est également corrélée à la surface urbanisée et la surface en eau. L'abondance de chiroptères est quant à elle corrélée à la surface boisée.

En conclusion, à la question « À l'échelle d'un territoire suffisamment vaste comportant de nombreuses éoliennes, y a-t-il un effet de la densité des éoliennes sur la diversité et l'abondance des espèces de faune volante ? », la réponse semble être oui avec un effet négatif pour les oiseaux (en particulier pour les passereaux), et non pour les chiroptères. Plus largement, il semblerait donc que l'effet cumulatif des éoliennes entraîne une perte d'habitat pour les oiseaux (en particulier pour les passereaux).

A ce stade, la principale préconisation est la suivante : limiter la densité d'éoliennes proches des zones urbanisées, proches des zones en eau ou proches des zones forestières. Il faudra limiter d'autant plus cette densité dans les zones qui comprennent deux ou trois de ces habitats. Ceci dans le but de limiter la diminution de la diversité d'espèces et de l'abondance d'oiseaux proche de ces zones, particulièrement pour les passereaux.

Concernant les chiroptères, aucun effet de la densité d'éoliennes sur la diversité ou l'abondance de ces espèces n'a été démontré à ce stade de l'étude. Aucune préconisation n'est donc envisageable pour le moment.

Les résultats des prochaines sessions de terrain permettront d'enrichir ces conclusions et de valider ou non la tendance du non effet de la densité d'éoliennes sur les chiroptères.

5.2 Perspectives

La présente étude n'a, à ce stade, pas identifié de lien entre la densité d'éoliennes et la diversité ou l'abondance de chiroptères.

En revanche, il faut noter que la thèse de Camille Leroux « Effet des éoliennes sur l'utilisation des habitats par les chiroptères », présentée le 1^{er} mars 2023, avait permis de mettre en évidence un effet de la densité d'éoliennes sur les chiroptères. D'après les résultats de cette étude, dans une zone tampon de 1500 m autour d'un détecteur, le nombre d'éoliennes impacte négativement l'activité des Noctules (non significatif pour les autres espèces). Il y aurait donc une perte dans l'utilisation des habitats pour les espèces de haut vol (Leroux et al. 2023). Une seconde étude en Allemagne va également dans ce sens, préconisant de limiter la densité d'éoliennes afin de réduire la perte d'habitats des espèces de haut vol telles que les Noctules (Reusch et al. 2022).

Comme précédemment écrit, une campagne d'inventaires future permettra donc de confirmer ou d'infirmer la tendance observée suite à nos analyses, et de faire un lien, s'il est possible, avec les résultats des études ci-dessus.

Enfin, il serait intéressant d'intégrer les paramètres des éoliennes dans les analyses. En effet, le diamètre du rotor, la garde au sol, la distance en bout de pales avec les lisières, ou la vitesse de rotation des pales, sont des paramètres susceptibles d'impacter certaines espèces. Les recommandations d'EUROBATS (Rodrigues 2008) et de la Société Française pour l'étude et la protection des mammifères (SFEPM 2020) vont d'ailleurs dans ce sens (éloigner les éoliennes à 200 m en bout de pales des lisières, proscrire les éoliennes ayant une garde au sol inférieure à 30 m, proscrire les diamètres de rotor supérieurs à 90 m). En revanche, il est difficile d'obtenir ces paramètres auprès des exploitants ou des bases de données disponibles. Il faudra donc s'assurer de pouvoir récolter ces données avant d'envisager toutes analyses prenant en compte ces paramètres.

BIBLIOGRAPHIE

- Coppes, J., J.-L. Kämmerle, V. Grünschachner-Berger, V. Braunisch, K. Bollmann, P. Mollet, R. Suchant, and U. Nopp-Mayr. 2020. Consistent effects of wind turbines on habitat selection of capercaillie across Europe. *Biological Conservation* 244:108529.
- Doherty, T., G. Hays, and D. Driscoll. 2021. Human disturbance causes widespread disruption of animal movement. *Nature Ecology & Evolution* 5:1–7.
- Gaultier, S. P., G. Marx, and D. Roux. 2019. Éoliennes & biodiversité : Synthèse des connaissances sur les impacts et les moyens de les atténuer. Office national de la chasse et de la faune sauvage/LPO.
- Krijgsveld, K., K. Akershoek, F. Schenk, F. Dijk, and S. Dirksen. 2009. Collision Risk of Birds with Modern Large Wind Turbines. *Ardea* 97:357–366.
- Leroux, C., K. Barré, N. Valet, C. Kerbiriou, and I. L. Viol. 2024. Distribution of common pipistrelle (*Pipistrellus pipistrellus*) activity is altered by airflow disruption generated by wind turbines. *PLOS ONE* 19:e0303368.
- Leroux, C., I. Le Viol, N. Valet, C. Kerbiriou, and K. Barré. 2023. Disentangling mechanisms responsible for wind energy effects on European bats. *Journal of Environmental Management* 346:118987.
- Magurran, A. E. 2021. Measuring biological diversity. *Current Biology* 31:R1174–R1177.
- Marx, G. 2017. Le Parc éolien français et ses impacts sur l’avi-faune. Étude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015. LPO.
- Moriguchi, S., H. Mukai, R. Komachi, and T. Sekijima. 2019. Wind Farm Effects on Migratory Flight of Swans and Foraging Distribution at Their Stopover Site. Pages 125–133.
- Niebuhr, B. B., B. Van Moorter, A. Stien, T. Tveraa, O. Strand, K. Langeland, P. Sandström, M. Alam, A. Skarin, and M. Panzacchi. 2023. Estimating the cumulative impact and zone of influence of anthropogenic features on biodiversity. *Methods in Ecology and Evolution* 14:2362–2375.
- Reusch, C., M. Lozar, S. Kramer-Schadt, and C. C. Voigt. 2022. Coastal onshore wind turbines lead to habitat loss for bats in Northern Germany. *Journal of Environmental Management* 310:114715.
- Rezaei, F., P. Contestabile, D. Vicinanza, and A. Azzellino. 2023. Towards understanding environmental and cumulative impacts of floating wind farms: Lessons learned from the fixed-bottom offshore wind farms. *Ocean & Coastal Management* 243:106772.
- Riols-Loyrette, C. 2015. Impact de parcs éoliens sur un couple d’aigle royal *Aquila chrysaetos* dans les Corbières. *Ornithos*:196–207.
- Rodrigues, L., editor. 2008. Guidelines for consideration of bats in wind farm projects. UNEP/EUROBATS, Bonn.
- SFEPM. 2020. Note technique du Groupe de Travail Éolien de la Coordination Nationale Chiroptères de la SFEPM. Coordination Nationale Chiroptères SFEPM.
- Smith, E. R. 2002. BACI Design. In : El-Shaarawi, A.H. and Piegorsch. Pages 141–148 *Encyclopedia of Environmetrics*. Chichester.
- Symonds, M. R. E., and A. Moussalli. 2011. A brief guide to model selection, multimodel inference and model averaging in behavioural ecology using Akaike’s information criterion. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 65:13–21.
- Tolvanen, A., H. Routavaara, M. Jokikokko, and P. Rana. 2023. How far are birds, bats, and terrestrial mammals displaced from onshore wind power development? – A systematic review. *Biological Conservation* 288:110382.
- Verberk, W. 2011. Explaining General Patterns in Species Abundance and Distributions. *Nature Education Knowledge* 3:38.
- Watson, S. C. L., P. J. Somerfield, A. J. Lemasson, A. M. Knights, A. Edwards-Jones, J. Nunes, C. Pascoe, C. L. McNeill, M. Schratzberger, M. S. A. Thompson, E. Couce, C. L. Szostek, H. Baxter, and N. J. Beaumont. 2024. The global impact of offshore wind farms on ecosystem services. *Ocean & Coastal Management* 249:107023.
- Zuur, A. F., E. N. Ieno, N. J. Walker, A. A. Saveliev, and G. M. Smith. 2009a. *Mixed Effects Models and Extension in Ecology with R*. Springer, New York.
- Zuur, A. F., E. N. Ieno, N. Walker, A. A. Saveliev, and G. M. Smith. 2009b. *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer, New York, NY.

GLOSSAIRE

ACP : Analyses en Composantes Principales

CEREMA : Centre d'Etudes et d'Expertises sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

CESCO : Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation

DREAL : Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

IGN : Institut Géographique National

IPA : Indice Ponctuel d'Abondance. Méthode d'échantillonnage des oiseaux nicheurs.

MNHN : Muséum National d'Histoire Naturelle

RPG : Registre Parcellaire Graphique

SM4 : Enregistreur d'ultrasons. Matériel utilisé pour l'enregistrement des cris de chiroptères

Annexe 1 : Détail des poses d'enregistreurs chiroptères 2021 – 1^{er} passage

Secteur	Point	Date	N°SM4	Modification lieu	Secteur	Point	Date	N°SM4	Modification lieu	Secteur	Point	Date	N°SM4	Modification lieu
S10	P1	28-juin	C		S7	P1	07-juil	25		S4	P2	16-juil	F	
S10	P2	28-juin	B		S7	P2	07-juil	21		S4	P3	16-juil	E	
S10	P3	28-juin	D	X	S7	P3	07-juil	D		S4	P4	16-juil	22	
S10	P4	28-juin	F		S7	P4	07-juil	A		S4	P5	16-juil	C	
S10	P5	28-juin	E		S7	P5	07-juil	24		S8	P1	16-juil	25	
S10	P6	28-juin	25		S7	P6	07-juil	26	X	S8	P2	16-juil	21	
S10	P7	28-juin	26		S7	P7	07-juil	22		S8	P3	16-juil	23	
S10	P8	28-juin	A		S7	P8	07-juil	C		S8	P4	16-juil	A	
S14	P1	28-juin	23		S9	P1	09-juil	A		S8	P5	16-juil	24	
S14	P2	28-juin	24		S9	P2	09-juil	B		S8	P6	16-juil	B	
S14	P3	28-juin	22		S9	P3	09-juil	26		S8	P7	16-juil	26	
S14	P4	28-juin	21		S9	P4	09-juil	C		S8	P8	16-juil	D	
S3	P1	30-juin	23		S2	P1	12-juil	24 Thèse		S1	P1	19-juil	B	
S3	P2	30-juin	25		S2	P3	09-juil	25 Thèse	X	S1	P2	19-juil	26	X
								Numéro						
S3	P3	30-juin	24		S2	P4	09-juil	inconnu		S1	P3	19-juil	25	
S3	P4	30-juin	22		S2	P21	09-juil	E	X	S1	P4	19-juil	D	X
S3	P5	30-juin	21		S2	P22	09-juil	24 Thèse		S1	P5	19-juil	23	
S3	P6	30-juin	C		S2	P23	09-juil	21		S1	P6	19-juil	21	
S3	P7	30-juin	D		S2	P24	09-juil	23		S1	P7	19-juil	A	
S3	P20	30-juin	26		S2	Supp6	09-juil	F		S1	P8	19-juil	24	
S14	P5	30-juin	F		S9	P5	09-juil	22		S4	P6	19-juil	F	X
S14	P6	30-juin	B		S9	P6	09-juil	25		S4	P7	19-juil	22	
S14	P7	30-juin	E		S9	P7	09-juil	24		S4	P20	19-juil	C	
S14	P8	30-juin	A		S9	P8	09-juil	D		S4	P21	19-juil	E	
S6	P1	02-juil	A		S5	P1	12-juil	26						
S6	P2	02-juil	B		S5	P2	12-juil	F						
S6	P3	02-juil	F		S5	P3	12-juil	C	X					
S6	P4	02-juil	E		S5	P4	12-juil	E						
S13	P1	02-juil	C		S5	P5	12-juil	D						
S13	P2	02-juil	2		S5	P6	12-juil	23	X					
S13	P3	02-juil	26		S5	P8	12-juil	B						
S13	P4	02-juil	21		S5	P20	12-juil	A						
S13	P5	02-juil	22		S5	P7								
S13	P6	02-juil	24		S15	P1	12-juil	22						
S13	P7	02-juil	25	X	S15	P2	12-juil	25						
S13	P8	02-juil	D		S15	P3	12-juil	24						
S6	P5	05-juil	A		S11	P1	14-juil	23						
S6	P6	05-juil	B		S11	P2	14-juil	B						
S6	P7	05-juil	F		S11	P3	14-juil	24 Thèse						
S6	P8	05-juil	E		S11	P4	14-juil	24						
S12	P1	05-juil	25		S11	P5	14-juil	21						
S12	P2	05-juil	22		S11	P8	14-juil	26						
S12	P3	05-juil	D		S11	P20	14-juil	A						

S12	P4	05-juil	C	S11	P21	14-juil	D	
S12	P5	05-juil	21	S15	P4	14-juil	F	
S12	P6	05-juil	26	S15	P5	14-juil	C	
S12	P7	05-juil	24	S15	P6	14-juil	25 X	
S12	P8	05-juil	23	S15	P7	14-juil	E	
				S15	P8	14-juil	22	

Annexe 2 : Détail des poses d'enregistreurs chiroptères 2021 – 2^{ème} passage

Secteur	Point	Date	N°SM4	Modification lieu	Secteur	Point	Date	N°SM4	Modification lieu	Secteur	Point	Date	N°SM4	Modification lieu
S10	P1	27-août	23		S7	P1	06-sept	26		S4	P2	17-sept	21	
S10	P2	27-août	F		S7	P2	06-sept	25		S4	P3	17-sept	26	
S10	P3	27-août	24	X	S7	P3	06-sept	F		S4	P4	17-sept	4	
S10	P4	27-août	25		S7	P4	06-sept	D		S4	P5	17-sept	2	
S10	P5	27-août	26		S7	P5	06-sept	E		S8	P1	15-sept	D	
S10	P6	27-août	22		S7	P6	06-sept	21	X	S8	P2	15-sept	C	
S10	P7	27-août	21		S7	P7	06-sept	A		S8	P3	15-sept	25	
S10	P8	27-août	E		S7	P8	06-sept	C		S8	P4	15-sept	E	
S14	P1	30-août	26		S9	P1	06-sept	24		S8	P5	15-sept	1	
S14	P2	30-août	E		S9	P2	06-sept	23 Thèse		S8	P6	15-sept	23 Thèse	
S14	P3	27-août	J		S9	P3	08-sept	A		S8	P7	15-sept	A	
S14	P4	27-août	I		S9	P4	08-sept	21		S8	P8	15-sept	23	
S3	P1	30-août	D		S2	P1	10-sept	E		S1	P1	17-sept	D	
S3	P2	30-août	C		S2	P3	08-sept	D	X	S1	P2	17-sept	1	X
S3	P3	30-août	B		S2	P4	08-sept	C		S1	P3	17-sept	23 Thèse	
S3	P4	30-août	23		S2	P21	08-sept	22	X	S1	P4	17-sept	25	X
S3	P5	30-août	24		S2	P22	10-sept	C		S1	P5	17-sept	A	
S3	P6	30-août	22		S2	P23	08-sept	E		S1	P6	17-sept	23	
S3	P7	30-août	21		S2	P24	08-sept	25		S1	P7	17-sept	E	
S3	P20	30-août	A		S2	Supp6	08-sept	26		S1	P8	17-sept	C	
S14	P5	27-août	H		S9	P5	06-sept	23		S4	P6	17-sept	22	X
S14	P6	30-août	F		S9	P6	08-sept	23		S4	P7	15-sept	21	
S14	P7	30-août	25		S9	P7	08-sept	23 Thèse		S4	P20	15-sept	22	
S14	P8	27-août	G		S9	P8	06-sept	22		S4	P21	15-sept	26	
S6	P1	03-sept	26		S5	P1	10-mai	1						
S6	P2	01-sept	D		S5	P2	10-mai	4						
S6	P3	03-sept	25		S5	P3	10-mai	A	X					
S6	P4	03-sept	21		S5	P4	10-mai	16						
S13	P1	01-sept	23		S5	P5	10-mai	23 Thèse						
S13	P2	01-sept	25		S5	P6	10-mai	23	X					
S13	P3	01-sept	21		S5	P8	10-mai	25						
S13	P4	01-sept	F		S5	P20	10-mai	3						
S13	P5	01-sept	E		S5	P7								
S13	P6	01-sept	A		S15	P1	13-sept	21						
S13	P7	01-sept	26	X	S15	P2	13-sept	D						
S13	P8	01-sept	22		S15	P3	13-sept	D						
S6	P5	03-sept	A		S11	P1	13-sept	23						
S6	P6	01-sept	4		S11	P2	13-sept	A						
S6	P7	01-sept	C		S11	P3	13-sept	E						
S6	P8	03-sept	E		S11	P4	13-sept	3						
			23											
S12	P1	03-sept	Thèse		S11	P5	13-sept	1						
S12	P2	03-sept	D		S11	P8	13-sept	25						
S12	P3	03-sept	24		S11	P20	13-sept	C						

S12	P4	03-sept	23	S11	P21	13-sept	23	Thèse
S12	P5	03-sept	C	S15	P4	10-sept	26	
			22					
S12	P6	03-sept	Thèse	S15	P5	10-sept	22	
S12	P7	03-sept	22	S15	P6	13-sept	26	X
S12	P8	03-sept	F	S15	P7	10-sept	21	
				S15	P8	13-sept	22	

Annexe 3 : Détail des poses d'enregistreurs chiroptères 2022 – 1^{er} et 2^{ème} passages

Site	Participation	StartDate	EndDate	StartTime	EndTime	Comment
S1P1	Passage_1	19/07/2022	21/07/2022	21:22	05:58	
S1P2	Passage_1	19/07/2022	21/07/2022	21:22	05:58	
S1P3	Passage_1	19/07/2022	21/07/2022	21:22	05:58	Passage 1 panne de l'enregistreur
S1P4	Passage_1	19/07/2022	21/07/2022	21:22	05:58	
S1P5	Passage_1	19/07/2022	21/07/2022	21:22	05:58	
S1P6	Passage_1	19/07/2022	21/07/2022	21:22	05:58	
S1P7	Passage_1	19/07/2022	21/07/2022	21:22	05:58	
S1P8	Passage_1	19/07/2022	21/07/2022	21:22	05:58	
S2P1	Passage_1	12/07/2022	14/07/2022	21:29	06:20	
S2P3	Passage_1	09/07/2022	10/07/2022	21:33	06:15	Passage 1 uniquement sur 1 nuit
S2P4	Passage_1	09/07/2022	12/07/2022	21:33	06:12	
S2P21	Passage_1	09/07/2022	12/07/2022	21:33	06:12	
S2P22	Passage_1	09/07/2022	12/07/2022	21:33	06:12	
S2P23	Passage_1	09/07/2022	12/07/2022	21:33	06:12	
S2P24	Passage_1	09/07/2022	12/07/2022	21:33	06:12	
S2sup6	Passage_1	09/07/2022	12/07/2022	21:33	06:12	
S3P1	Passage_1	30/06/2022	02/07/2022	21:33	06:12	
S3P2	Passage_1	30/06/2022	02/07/2022	21:35	06:12	
S3P3	Passage_1	30/06/2022	02/07/2022	21:35	06:10	
S3P4	Passage_1	30/06/2022	02/07/2022	21:35	06:10	
S3P5	Passage_1	30/06/2022	02/07/2022	21:35	06:10	
S3P6	Passage_1	30/06/2022	02/07/2022	21:35	06:10	
S3P7	Passage_1	30/06/2022	02/07/2022	21:35	06:10	
S3P20	Passage_1	30/06/2022	02/07/2022	21:35	06:10	
S4P2	Passage_1	16/07/2022	19/07/2022	21:25	06:26	
S4P3	Passage_1	16/07/2022	19/07/2022	21:25	06:26	
S4P4	Passage_1	16/07/2022	19/07/2022	21:25	06:26	
S4P5	Passage_1	16/07/2022	19/07/2022	21:25	06:26	
S4P6	Passage_1	19/07/2022	21/07/2022	21:22	05:58	
S4P7	Passage_1	19/07/2022	21/07/2022	21:22	05:58	
S4P20	Passage_1	19/07/2022	21/07/2022	21:22	05:58	
S4P21	Passage_1	19/07/2022	21/07/2022	21:22	05:58	
S5P1	Passage_1	12/07/2022	14/07/2022	21:29	06:20	
S5P2	Passage_1	12/07/2022	14/07/2022	21:29	06:20	
S5P3	Passage_1	12/07/2022	14/07/2022	21:29	06:20	
S5P4	Passage_1	12/07/2022	14/07/2022	21:29	06:20	
S5P5	Passage_1	12/07/2022	14/07/2022	21:29	06:20	
S5P6	Passage_1	12/07/2022	14/07/2022	21:29	06:20	
S5P8	Passage_1	12/07/2022	14/07/2022	21:29	06:20	
S5P20	Passage_1	12/07/2022	14/07/2022	21:29	06:20	

S6P1	Passage_1	02/07/2022	05/07/2022	06:12	06:12	
S6P2	Passage_1	02/07/2022	05/07/2022	06:12	06:12	
S6P3	Passage_1	02/07/2022	05/07/2022	06:12	06:12	
S12P2	Passage_1	05/07/2022	07/07/2022	21:33	06:12	
S12P3	Passage_1	05/07/2022	07/07/2022	21:33	06:12	
S12P4	Passage_1	05/07/2022	07/07/2022	21:33	06:12	
S12P5	Passage_1	05/07/2022	07/07/2022	21:33	06:12	
S12P6	Passage_1	05/07/2022	07/07/2022	21:33	06:12	
S12P7	Passage_1	05/07/2022	07/07/2022	21:33	06:12	
S12P8	Passage_1	05/07/2022	07/07/2022	21:33	06:12	
S13P1	Passage_1	02/07/2022	05/07/2022	21:35	06:10	
S13P2	Passage_1	02/07/2022	05/07/2022	21:35	06:10	
S13P3	Passage_1	02/07/2022	05/07/2022	21:35	06:10	
S13P4	Passage_1	02/07/2022	05/07/2022	21:35	06:10	
S13P5	Passage_1	02/07/2022	05/07/2022	21:35	06:10	
S13P6	Passage_1	02/07/2022	05/07/2022	21:35	06:10	
S13P7	Passage_1	02/07/2022	05/07/2022	21:35	06:10	
S13P8	Passage_1	02/07/2022	05/07/2022	21:35	06:10	
S14P1	Passage_1	28/06/2022	30/06/2022	21:35	06:10	
S14P3	Passage_1	28/06/2022	30/06/2022	21:35	06:10	
S14P2	Passage_1	28/06/2022	30/06/2022	21:35	06:10	
S14P4	Passage_1	28/06/2022	30/06/2022	21:35	06:10	
S14P5	Passage_1	30/06/2022	02/07/2022	21:35	06:10	
S14P6	Passage_1	30/06/2022	02/07/2022	21:35	06:10	
S14P7	Passage_1	30/06/2022	02/07/2022	21:35	06:10	
S14P8	Passage_1	30/06/2022	02/07/2022	21:35	06:10	
S15P1	Passage_1	12/07/2022	14/07/2022	21:29	06:20	
S15P2	Passage_1	12/07/2022	14/07/2022	21:29	06:20	
S15P3	Passage_1	12/07/2022	14/07/2022	21:29	06:20	
S15P4	Passage_1	14/07/2022	16/07/2022	21:27	06:22	
S15P5	Passage_1	14/07/2022	16/07/2022	21:27	06:22	
S15P6	Passage_1	14/07/2022	16/07/2022	21:27	06:22	
S15P7	Passage_1	14/07/2022	16/07/2022	21:27	06:22	
S15P8	Passage_1	14/07/2022	16/07/2022	21:27	06:22	
S1P1	Passage_2	17/09/2022	20/09/2022	19:27	08:01	
S1P2	Passage_2	17/09/2022	20/09/2022	19:27	08:01	
S1P3	Passage_2	17/09/2022	20/09/2022	19:27	08:01	
S1P4	Passage_2	17/09/2022	20/09/2022	19:27	08:01	
S1P5	Passage_2	17/09/2022	20/09/2022	19:27	08:01	
S1P6	Passage_2	17/09/2022	19/09/2022	19:27	07:59	Passage 2 Manque une nuit par rapport aux enregistreurs sur la même période
S1P7	Passage_2	17/09/2022	20/09/2022	19:27	08:01	
S1P8	Passage_2	17/09/2022	20/09/2022	19:27	08:01	
S2P1	Passage_2	10/09/2022	13/09/2022	19:43	07:50	
S2P3	Passage_2	08/09/2022	10/09/2022	19:48	07:45	
S2P4	Passage_2	08/09/2022	10/09/2022	19:48	07:45	

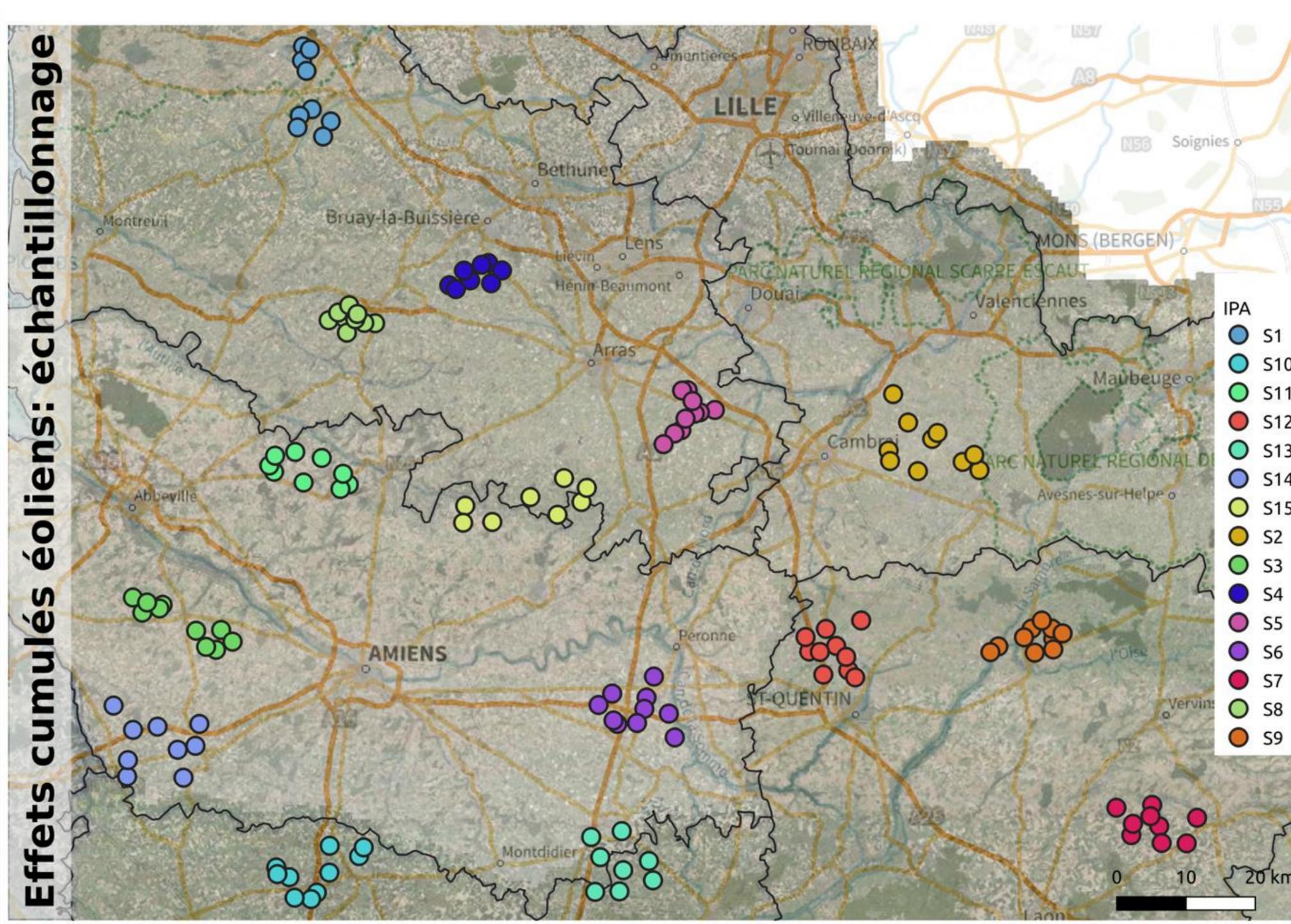
S2P21	Passage_2	08/09/2022	10/09/2022	19:48	07:45	
S2P22	Passage_2	10/09/2022	12/09/2022	19:43	07:48	Passage 2 manque 1 nuit par rapport aux enregistreurs sur les mêmes dates
S2P23	Passage_2	08/09/2022	10/09/2022	19:48	07:45	
S2P24	Passage_2	08/09/2022	10/09/2022	19:48	07:45	
S2sup6	Passage_2	08/09/2022	10/09/2022	19:48	07:45	Passage 2 pas de données bien que l'enregistreur semble bien avoir fonctionné
S3P1	Passage_2	30/08/2022	01/09/2022	20:08	07:31	
S3P2	Passage_2	30/08/2022	01/09/2022	20:08	07:31	Passage 2 pas de données bien que l'enregistreur semble bien avoir fonctionné
S3P3	Passage_2	30/08/2022	01/09/2022	20:08	07:31	Passage 2 perte des données suite au vol/broyage de l'enregistreur
S3P4	Passage_2	30/08/2022	01/09/2022	20:08	07:31	
S3P5	Passage_2	30/08/2022	01/09/2022	20:08	07:31	
S3P6	Passage_2	30/08/2022	01/09/2022	20:08	07:31	
S3P7	Passage_2	30/08/2022	01/09/2022	20:08	07:31	
S3P20	Passage_2	30/08/2022	01/09/2022	20:08	07:31	
S4P2	Passage_2	17/09/2022	20/09/2022	19:27	08:01	
S4P3	Passage_2	17/09/2022	20/09/2022	19:27	08:01	Passage 2 pas de données bien que l'enregistreur semble bien avoir fonctionné
S4P4	Passage_2	17/09/2022	20/09/2022	19:27	08:01	
S4P5	Passage_2	17/09/2022	20/09/2022	19:27	08:01	
S4P6	Passage_2	17/09/2022	20/09/2022	19:27	08:01	Passage 2 pas de données bien que l'enregistreur semble bien avoir fonctionné
S4P7	Passage_2	15/09/2022	17/09/2022	19:32	07:56	
S4P20	Passage_2	15/09/2022	17/09/2022	19:32	07:56	
S4P21	Passage_2	15/09/2022	17/09/2022	19:32	07:56	
S5P1	Passage_2	10/09/2022	13/09/2022	19:43	07:50	Passage 2 pas d'enregistrement la nuit du 10 au 11/09
S5P2	Passage_2	10/09/2022	13/09/2022	19:43	07:50	
S5P3	Passage_2	10/09/2022	13/09/2022	19:43	07:50	
S5P4	Passage_2	10/09/2022	13/09/2022	19:43	07:50	
S5P5	Passage_2	10/09/2022	13/09/2022	19:43	07:50	
S5P6	Passage_2	10/09/2022	13/09/2022	19:43	07:50	
S5P8	Passage_2	10/09/2022	13/09/2022	19:43	07:50	
S5P20	Passage_2	10/09/2022	13/09/2022	19:43	07:50	
S6P1	Passage_2	03/09/2022	06/09/2022	19:59	07:39	
S6P2	Passage_2	01/09/2022	03/09/2022	20:03	07:34	
S6P3	Passage_2	03/09/2022	06/09/2022	19:59	07:39	Passage 2 pas de données bien que l'enregistreur semble bien avoir fonctionné
S6P4	Passage_2	03/09/2022	06/09/2022	19:59	07:39	
S6P5	Passage_2	03/09/2022	06/09/2022	19:59	07:39	

S6P6	Passage_2	01/09/2022	03/09/2022	20:03	07:34	
S6P7	Passage_2	01/09/2022	03/09/2022	20:03	07:34	Passage 2 pas de données bien que l'enregistreur semble bien avoir fonctionné
S6P8	Passage_2	03/09/2022	06/09/2022	19:59	07:39	Passage 2 pas de données bien que l'enregistreur semble bien avoir fonctionné
S7P1	Passage_2	06/09/2022	08/09/2022	19:52	07:42	Passage 2 pas de données bien que l'enregistreur semble bien avoir fonctionné
S7P2	Passage_2	06/09/2022	08/09/2022	19:52	07:42	
S7P3	Passage_2	13/09/2022	16/09/2022	19:36	07:55	
S7P4	Passage_2	06/09/2022	08/09/2022	19:52	07:42	
S7P5	Passage_2	06/09/2022	08/09/2022	19:52	07:42	
S7P6	Passage_2	06/09/2022	08/09/2022	19:52	07:42	
S7P7	Passage_2	06/09/2022	08/09/2022	19:52	07:42	
S7P8	Passage_2	06/09/2022	08/09/2022	19:52	07:42	
S8P1	Passage_2	15/09/2022	17/09/2022	19:32	07:56	
S8P2	Passage_2	15/09/2022	17/09/2022	19:32	07:56	Passage 2 pas de données bien que l'enregistreur semble bien avoir fonctionné
S8P3	Passage_2	15/09/2022	17/09/2022	19:32	07:56	
S8P4	Passage_2	15/09/2022	17/09/2022	19:32	07:56	
S8P5	Passage_2	15/09/2022	17/09/2022	19:32	07:56	
S8P6	Passage_2	15/09/2022	17/09/2022	19:32	07:56	
S8P7	Passage_2	15/09/2022	17/09/2022	19:32	07:56	
S8P8	Passage_2	15/09/2022	17/09/2022	19:32	07:56	
S9P1	Passage_2	06/09/2022	08/09/2022	19:52	07:42	Passage 2 perte des données suite au vol/broyage de l'enregistreur
S9P2	Passage_2	06/09/2022	08/09/2022	19:52	07:42	
S9P3	Passage_2	08/09/2022	10/09/2022	19:48	07:45	
S9P4	Passage_2	08/09/2022	10/09/2022	19:48	07:45	
S9P5	Passage_2	06/09/2022	08/09/2022	19:52	07:42	
S9P6	Passage_2	08/09/2022	10/09/2022	19:48	07:45	
S9P7	Passage_2	08/09/2022	10/09/2022	19:48	07:45	
S9P8	Passage_2	06/09/2022	08/09/2022	19:52	07:42	
S10P1	Passage_2	27/08/2022	30/08/2022	20:14	07:28	
S10P2	Passage_2	27/08/2022	30/08/2022	20:14	07:28	
S10P3	Passage_2	27/08/2022	30/08/2022	20:14	07:28	
S10P4	Passage_2	27/08/2022	30/08/2022	20:14	07:28	
S10P5	Passage_2	27/08/2022	30/08/2022	20:14	07:28	
S10P6	Passage_2	27/08/2022	30/08/2022	20:14	07:28	
S10P7	Passage_2	27/08/2022	30/08/2022	20:14	07:28	
S10P8	Passage_2	27/08/2022	30/08/2022	20:14	07:28	
S11P1	Passage_2	13/09/2022	15/09/2022	19:36	07:53	
S11P2	Passage_2	13/09/2022	15/09/2022	19:36	07:53	
S11P3	Passage_2	13/09/2022	15/09/2022	19:36	07:53	

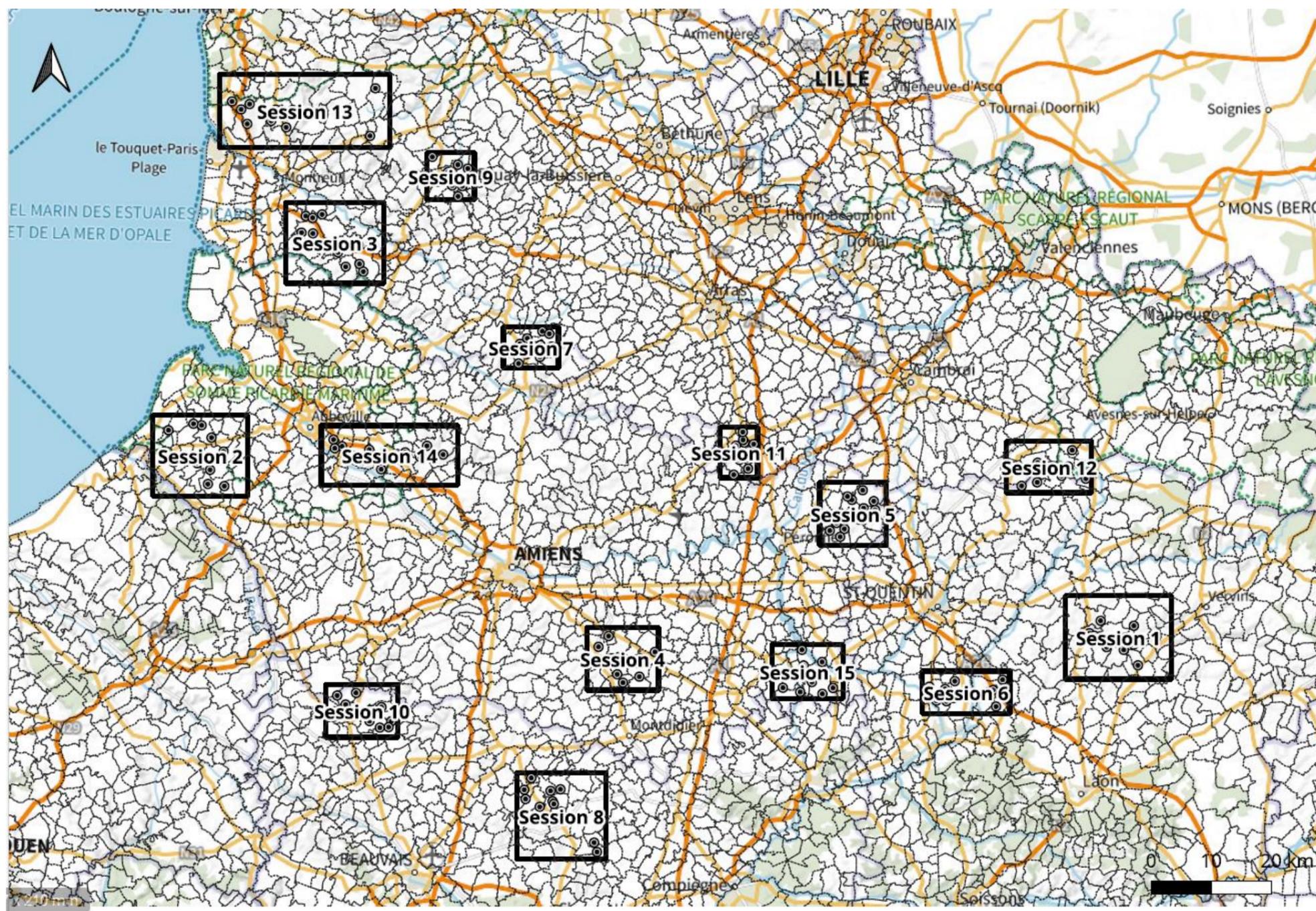
S11P4	Passage_2	13/09/2022	15/09/2022	19:36	07:53	Passage 2 pas de données bien que l'enregistreur semble bien avoir fonctionné
S11P5	Passage_2	13/09/2022	14/09/2022	19:36	07:51	Passage 2 pas de données sur la 2ème nuit (pas d'activité ou plus de piles ?)
S11P20	Passage_2	13/09/2022	15/09/2022	19:36	07:53	
S11P21	Passage_2	13/09/2022	15/09/2022	19:36	07:53	
S11P8	Passage_2	13/09/2022	15/09/2022	19:36	07:53	
S12P1	Passage_2	03/09/2022	06/09/2022	19:59	07:39	
S12P2	Passage_2	03/09/2022	06/09/2022	19:59	07:39	
S12P3	Passage_2	03/09/2022	06/09/2022	19:59	07:39	Passage 2 perte des données suite au vol/broyage de l'enregistreur
S12P4	Passage_2	03/09/2022	06/09/2022	19:59	07:39	
S12P5	Passage_2	03/09/2022	06/09/2022	19:59	07:39	Passage 2 pas de données bien que l'enregistreur semble bien avoir fonctionné
S12P6	Passage_2	03/09/2022	06/09/2022	19:59	07:39	
S12P7	Passage_2	03/09/2022	06/09/2022	19:59	07:39	
S12P8	Passage_2	03/09/2022	06/09/2022	19:59	07:39	
S13P1	Passage_2	01/09/2022	03/09/2022	20:03	07:34	
S13P2	Passage_2	01/09/2022	03/09/2022	20:03	07:34	Passage 2 pas de données bien que l'enregistreur semble bien avoir fonctionné
S13P3	Passage_2	01/09/2022	03/09/2022	20:03	07:34	Passage 2 pas de données bien que l'enregistreur semble bien avoir fonctionné
S13P4	Passage_2	01/09/2022	03/09/2022	20:03	07:34	
S13P5	Passage_2	01/09/2022	03/09/2022	20:03	07:34	Passage 2 pas de données bien que l'enregistreur semble bien avoir fonctionné
S13P6	Passage_2	01/09/2022	03/09/2022	20:03	07:34	
S13P7	Passage_2	01/09/2022	03/09/2022	20:03	07:34	
S13P8	Passage_2	01/09/2022	03/09/2022	20:03	07:34	
S14P1	Passage_2	30/08/2022	01/09/2022	20:08	07:31	
S14P3	Passage_2	30/08/2022	01/09/2022	20:08	07:31	
S14P2	Passage_2	27/08/2022	30/08/2022	20:14	07:28	
S14P4	Passage_2	27/08/2022	30/08/2022	20:14	07:28	
S14P5	Passage_2	27/08/2022	30/08/2022	20:14	07:28	
S14P6	Passage_2	30/08/2022	01/09/2022	20:08	07:31	
S14P7	Passage_2	30/08/2022	01/09/2022	20:08	07:31	
S14P8	Passage_2	27/08/2022	30/08/2022	20:14	07:28	
S15P1	Passage_2	13/09/2022	15/09/2022	19:36	07:53	
S15P2	Passage_2	13/09/2022	15/09/2022	19:36	07:53	
S15P3	Passage_2	13/09/2022	15/09/2022	19:36	07:53	
S15P4	Passage_2	10/09/2022	13/09/2022	19:43	07:50	Passage 2 pas de données bien que l'enregistreur semble bien avoir fonctionné

S15P5	Passage_2	10/09/2022	13/09/2022	19:43	07:50	Passage 2 plus de données à partir du 13/09 à 03h06 (plus d'activité ou plus de piles ?)
S15P6	Passage_2	13/09/2022	15/09/2022	19:36	07:53	Passage 2 pas de données bien que l'enregistreur semble bien avoir fonctionné
S15P7	Passage_2	10/09/2022	13/09/2022	19:43	07:50	
S15P8	Passage_2	13/09/2022	15/09/2022	19:36	07:53	

Annexe 4 : Carte des secteurs inventoriés par IPA pour les oiseaux - 2021



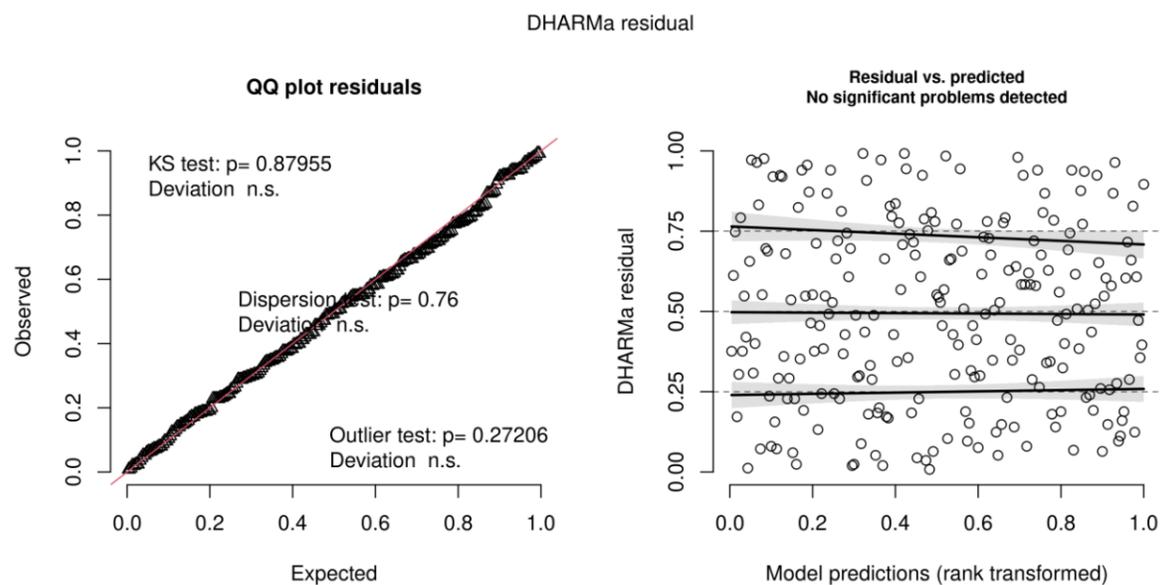
Annexe 5 : Carte des secteurs inventoriés par IPA pour les oiseaux - 2022



Annexe 6 : Résultats des modèles (Diversité et abondance d'oiseaux)

Diversité en oiseaux

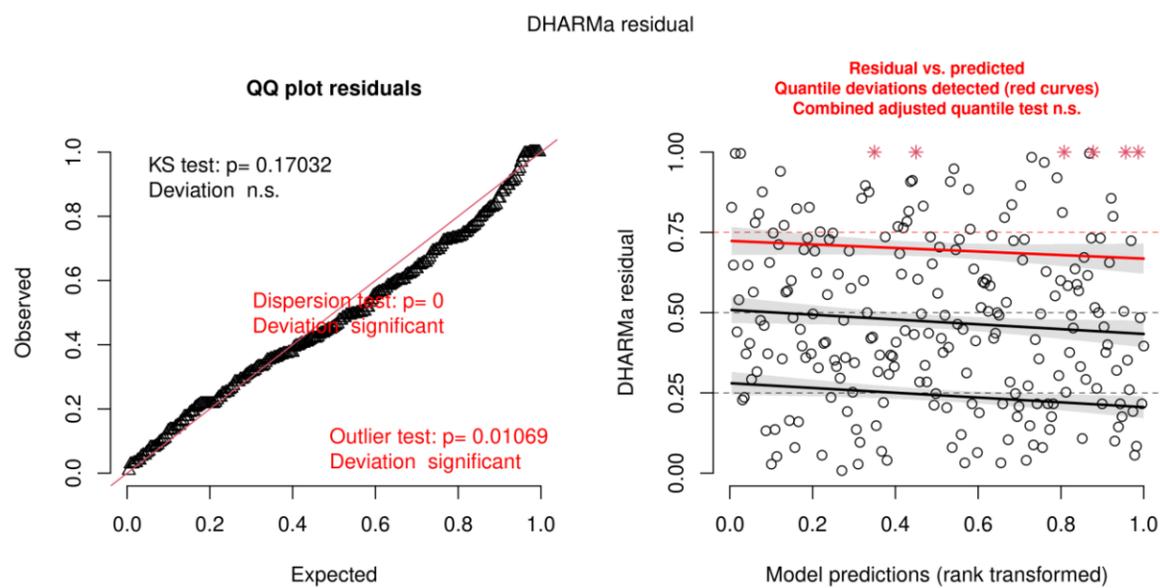
Le modèle linéaire avec effets aléatoires qui présente les meilleurs performances d'AICc.



Représentation des résidus du modèle complet permettant l'évaluation de sa qualité

Abondance d'oiseaux

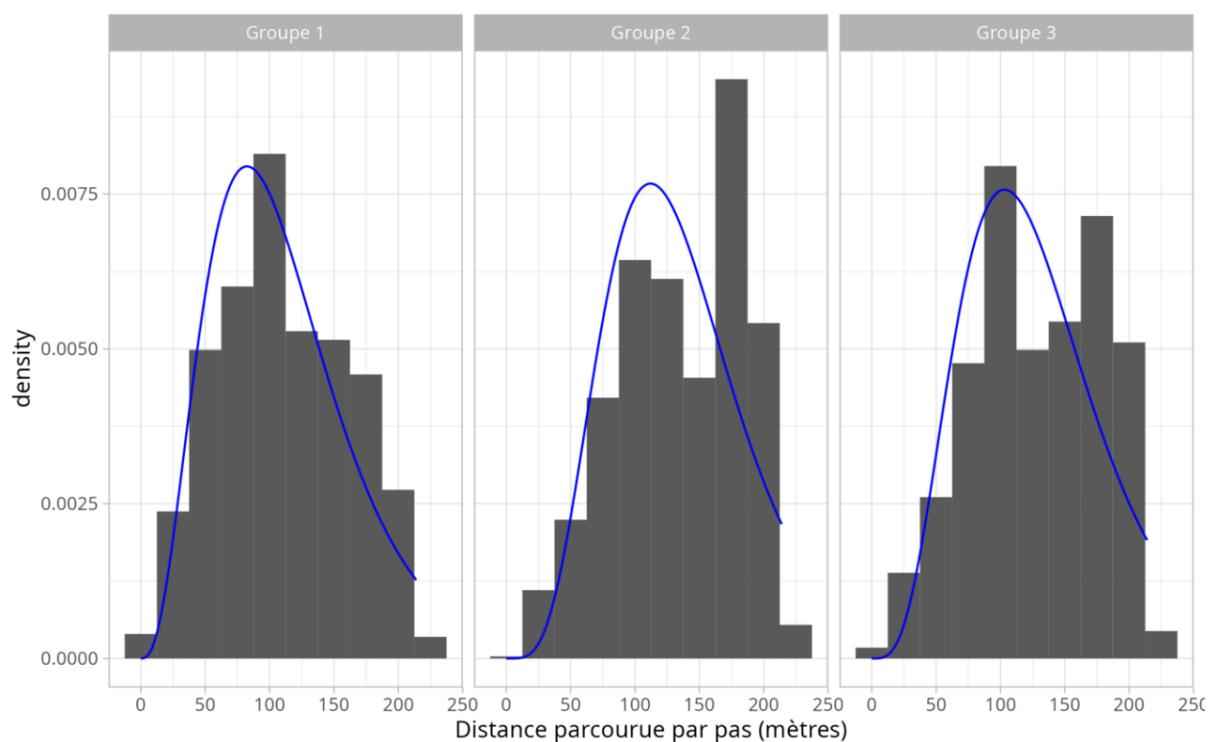
Les données d'abondances ont subi une transformation logarithmique et été analysées avec un modèle linéaire généralisé de famille « Gamma ». Le modèle linéaire sans effets aléatoires présente les meilleurs performances d'AICc.



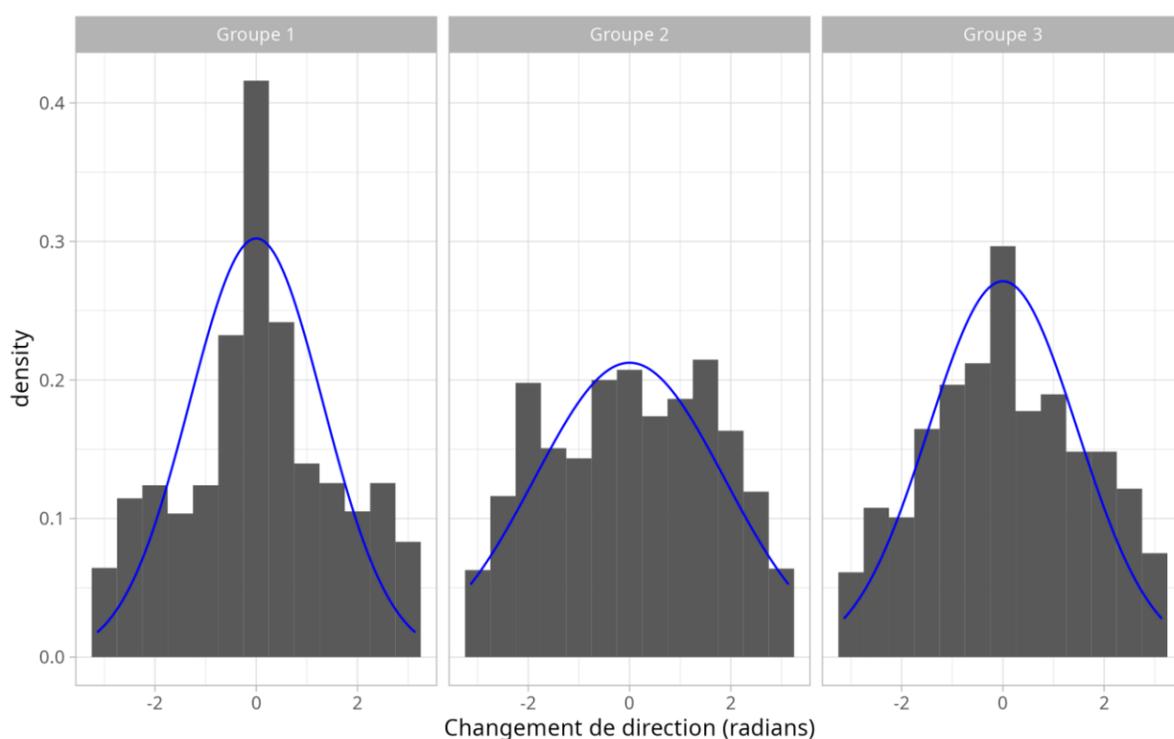
Représentation des résidus du modèle complet permettant l'évaluation de sa qualité

Annexe 7 : Résultats de trajectométrie

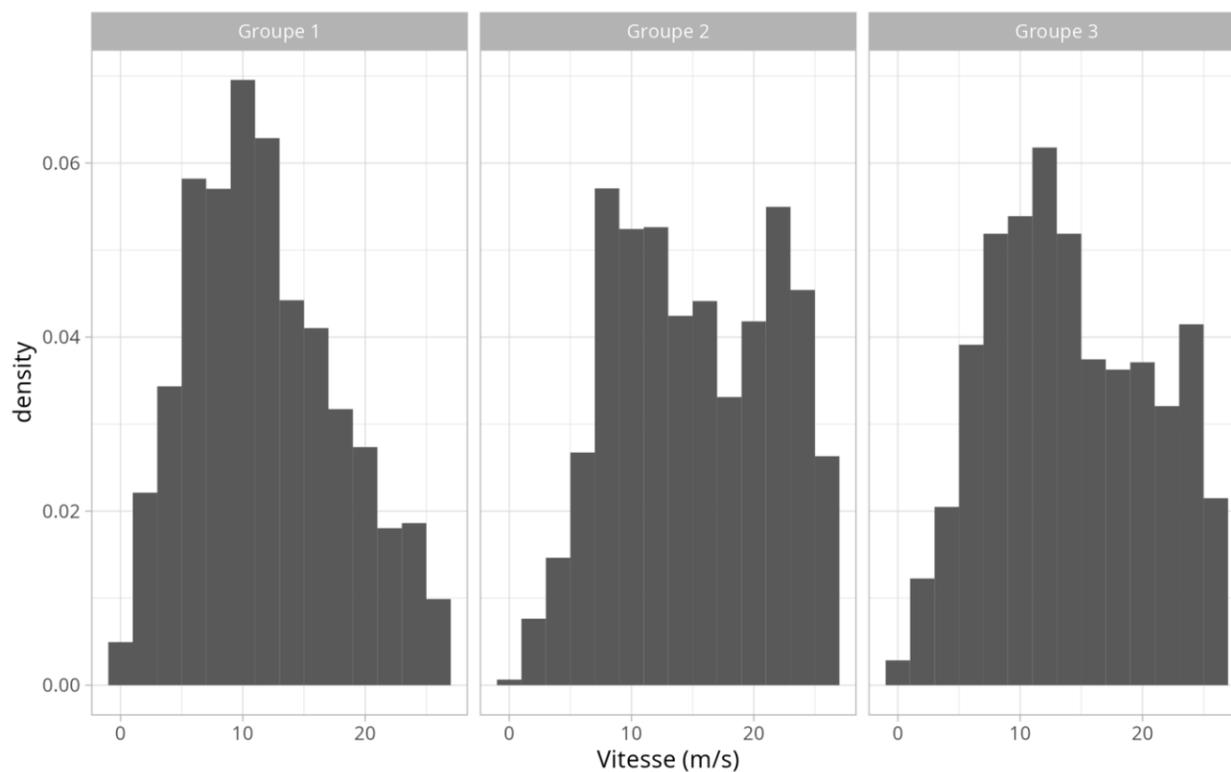
Caractéristiques des trajectoires radar



Distance parcourue entre chaque enregistrement radar par groupe d'oiseaux. Une distribution Gamma est ajustée aux distances par groupe d'oiseaux (en bleu).

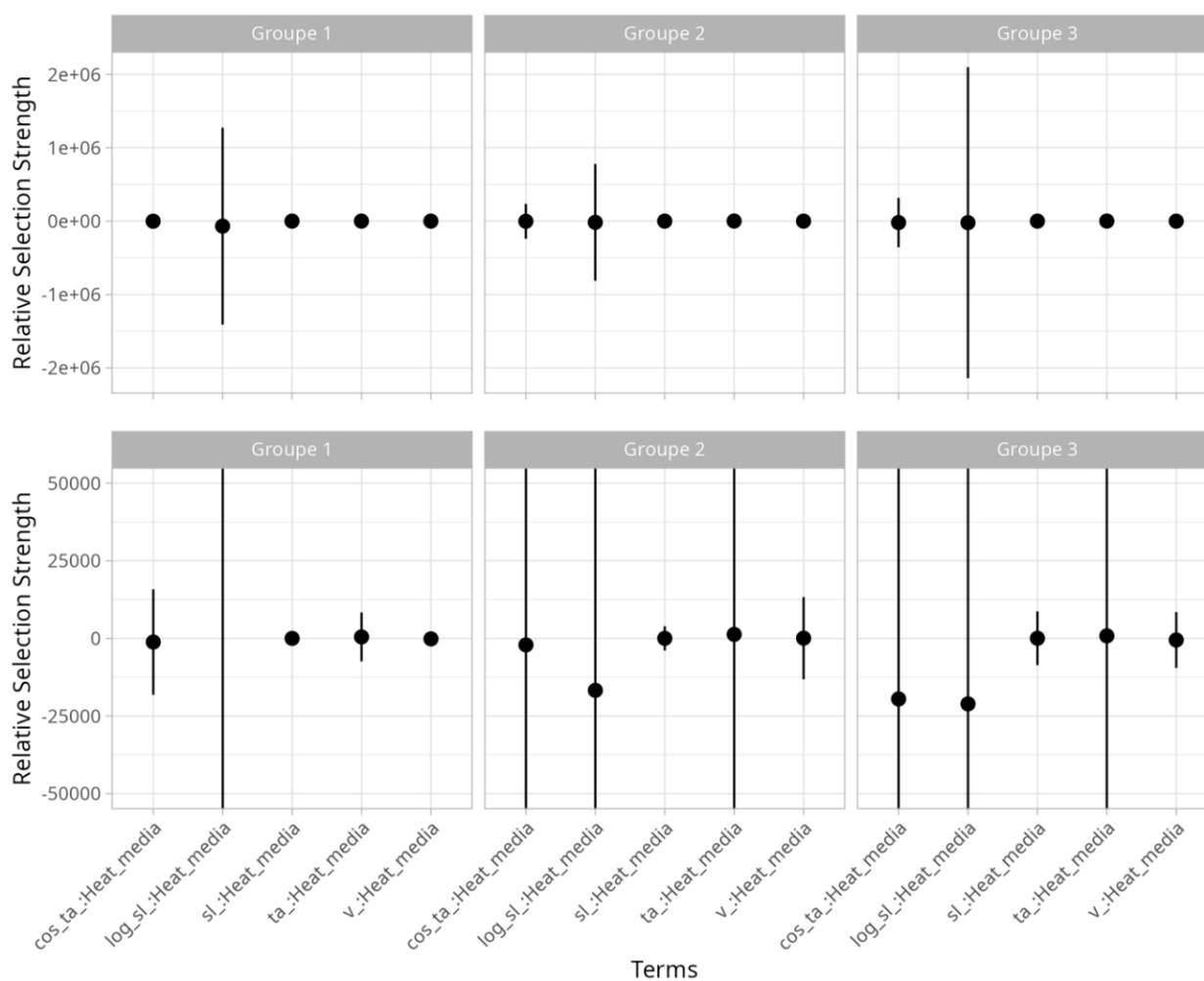


Angles du changement de direction par rapport à la direction du pas précédent en radians par groupe d'oiseaux. Une distribution circulaire normal (de Von Mises) est ajustée aux angles par groupe d'oiseaux (en bleu)



Vitesse entre chaque enregistrement radar par groupe d'oiseaux

Analyse de trajectométrie

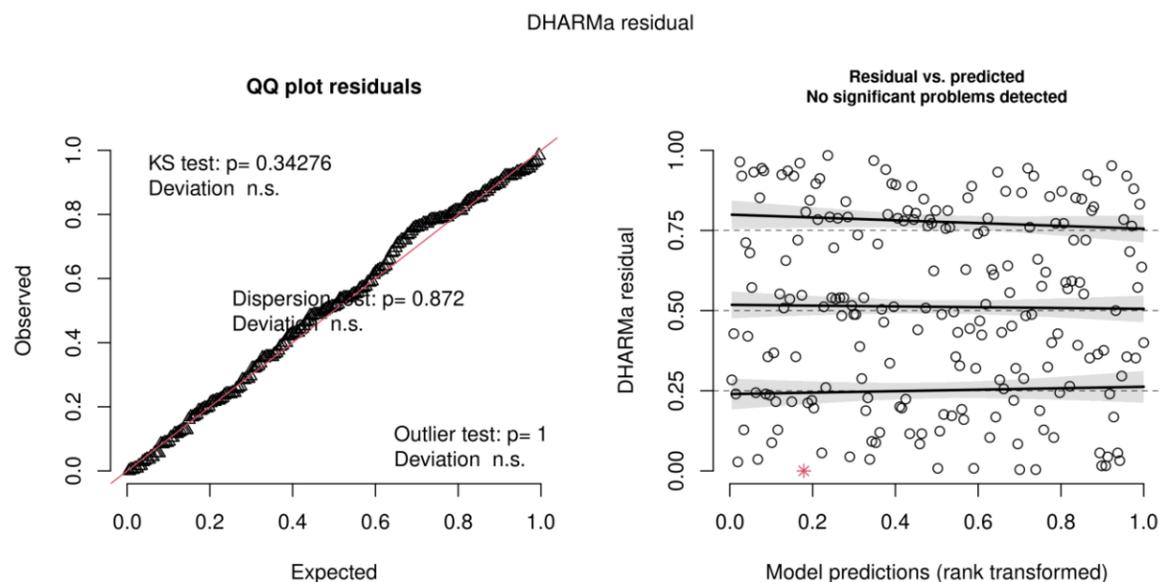


Effets non-significatifs de l'interaction entre les paramètres de trajectoires et la densité d'éoliennes (haut : graphique complet, bas : zoom de l'axe Y).

Annexe 8 : Résultats des modèles (Diversité et abondance de chiroptères)

Diversité de chiroptères

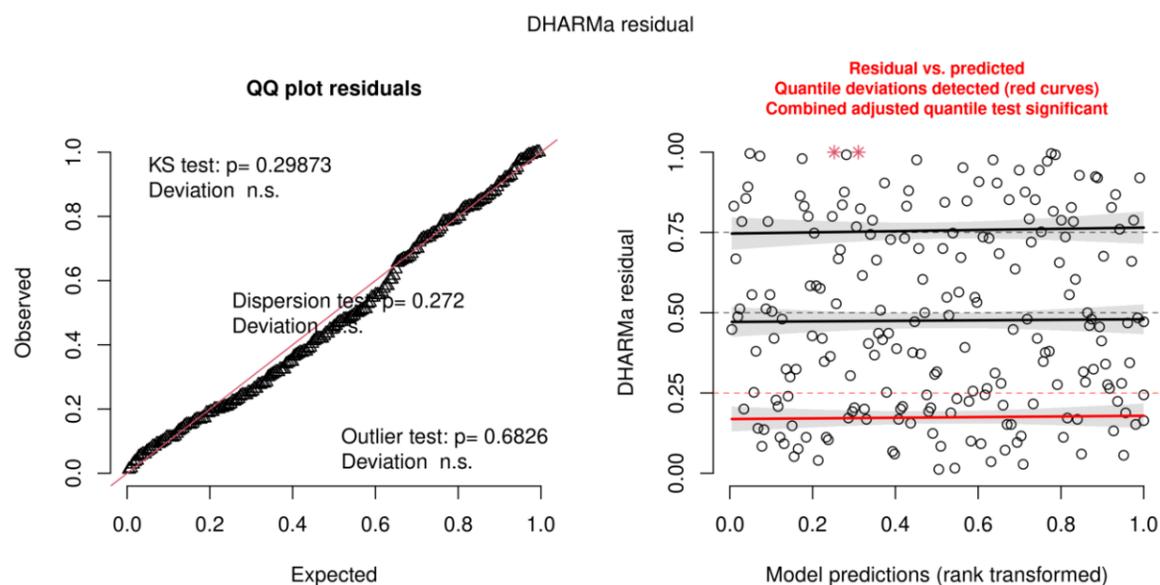
Concernant la diversité de chiroptères, c'est le modèle linéaire avec effets aléatoires qui présente les meilleures performances d'AICc.



Représentation des résidus du modèle complet permettant l'évaluation de sa qualité

Abondance de chiroptères

Les données d'abondances ont subi une transformation logarithmique pour être normalisées. Comme pour la diversité, c'est le modèle linéaire avec effets aléatoires qui présente les meilleurs performances d'AICc.



Représentation des résidus du modèle complet permettant l'évaluation de sa qualité

Annexe 9 : Note de Monsieur William Jaffre de Sens of life relatant les limites et difficultés rencontrées lors de l'étude radar

« Le système d'analyse est composé de radars dont les échos sont enregistrés et traités par PC équipés d'un logiciel de traitement.

La perte d'alimentation du système, l'instabilité d'un pc ou de son logiciel peuvent remettre en cause les données d'une campagne. Nous avons donc analysé ces points et déterminer des action correctives ou préventives à mettre en place.

Sur le plan logiciel, la version du logiciel interface permettant de communiquer avec les radars a rencontré un problème et à nécessité l'intervention du fournisseur pour une réinstallation dans le cadre d'une mise à jour majeure de nos systèmes.

Nous avons par la même occasion homogénéisé les versions logicielles pour que l'ensemble des radars utilisés par Sens Of Life fonctionnement tous sur le même logiciel et la même version.

Les modifications ou évolutions effectuées sont :

- Un PC industriel spécifique attribué à chacun des Radar pour assurer fiabilité et redondance
- L'ensemble du système (unité de contrôle, PCs, alimentations et routeur) a été intégré dans une valise dédiée
- Suppression des mises à jour Windows (verrouillage de mise à jour automatique)
- Mise à jour avec une version logicielle unique d'acquisition pour tous les radars
- Retour en SAV du radar pour test et vérification
- La préparation du système avant installation et à la mise en route fera l'objet d'un rapport d'essai
- Un modem 4G est intégré pour une vérification journalière à distance (fonctionnement, disponibilité des données et intégrité des données)
- Formation des Chargés d'Etudes sur le terrain pour vérification ou support au fonctionnement radar (en début ou fin de journée si nécessaire)

L'ensemble de ces modification matériel et logiciel suivantes ont été mises en œuvre pour démarrer la prochaine campagne dans les meilleures conditions.

En parallèle, au niveau de la R&D, nous avons lancé un projet d'amélioration du traitement des données radars visant à améliorer notamment la rapidité du traitement des données. »