

*Centrale Éolienne
des Champs d'Amour*

NEOEN



Parc éolien des Champs d'Amour (36)

**Suivi post-implantation de la mortalité et de la
fréquentation des chiroptères en nacelle d'août
à octobre 2019**

ÉCOSPHÈRE Agence Centre-Bourgogne
112 rue du Nécotin, 45000 ORLEANS

10/06/2020

écosphère

INFORMATIONS & CONTACTS ●●●

Parc éolien des Champs d'Amour (36) Suivi post-implantation de la mortalité et de la fréquentation des chiroptères en nacelle

Étude réalisée pour : Centrale Éolienne des Champs d'Amour - Neoen

🏠 6 rue Ménars, 75002 Paris

👤 **Louis-Marie Zeller**
Asset Manager

📞 +33 1 70 91 62 43/ +33 7 50 14 87 12

@ Louis-Marie.Zeller@neoen.com

Étude réalisée par : ÉCOSPHÈRE Agence Centre-Bourgogne

🏠 112 rue du Nécotin, 45000 ORLEANS

📞 02 38 42 12 90

Coordination	Guillaume MARCHAIS <i>Chargé de projets</i>
Suivi de mortalité	Léa BOUTAULT, Maxime COLLET <i>Chargés d'études</i>
Suivi acoustique en nacelle	Guillaume MARCHAIS, Maxime COLLET <i>Chargé de projets et chargé d'études</i>
Analyses faunistiques	Léa BOUTAULT, Maxime COLLET, Guillaume MARCHAIS <i>Chargés d'études et de projet faune</i>
SIG et cartographie	Ulysse BOURGEOIS <i>Géomaticien</i>
Contrôle qualité	Guillaume VUITTON <i>Directeur de l'agence Centre-Bourgogne</i>

CONTEXTE ●●●

La société Neoen, pour le compte de la Centrale éolienne des Champs d'Amour SAS, a obtenu le 18 novembre 2014 l'autorisation d'exploiter un parc éolien sur les communes de Meunet-sur-Vatan et Reboursin, dans le département de l'Indre (36). Situé en Champagne-Berrichonne, il comprend 4 éoliennes de type Vestas V110/2200. Il a été mis en service en février 2018.

Afin de se conformer à la réglementation ICPE, et pour une application de l'arrêté préfectoral d'autorisation d'exploitation, la société Neoen a missionné la réalisation d'un suivi mortalité associé à un suivi acoustique en nacelle des chiroptères afin d'évaluer l'efficacité du bridage nocturne préventif mis en œuvre depuis l'été 2019.

Mission d'Ecosphère :

Dans ce contexte, la mission d'Ecosphère consistait à :

- Réaliser un suivi acoustique continu des chiroptères en altitude sur une éolienne ;
- Effectuer des recherches de cadavres selon un protocole standardisé de 16 passages;
- Évaluer les impacts par collision ou barotraumatisme en lien avec la fréquentation chiroptérologique du parc ;
- Proposer le cas échéant des mesures de réduction proportionnées.

SOMMAIRE

INFORMATIONS & CONTACTS	2
CONTEXTE	2
SOMMAIRE	3
1. CADRE TECHNIQUE ET RÉGLEMENTAIRE D'UN SUIVI POST-IMPLANTATION	4
2. PRÉSENTATION DU PARC ÉOLIEN	5
2.1 LOCALISATION ET CONTEXTE ÉCOLOGIQUE	5
2.2 CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU PARC ÉOLIEN	5
2.3 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES ÉOLIENNES EN SERVICE	5
2.4 SITUATION ÉCOLOGIQUE ANTÉRIEURE AU PARC – RAPPEL DE L'ÉTUDE D'IMPACT ÉCOLOGIQUE (EIE)	6
3. MÉTHODES DE TRAVAIL	9
3.1 SUIVI DE MORTALITÉ DES CHAUVES-SOURIS ET DES OISEAUX	9
3.2 SUIVI ACOUSTIQUE EN NACELLE	15
3.3 MÉTHODE D'ÉVALUATION DES ESPÈCES FRÉQUENTANT LE PARC.....	16
3.4 MÉTHODE DE DÉFINITION DES IMPACTS ET DES MESURES DE RÉDUCTION ADAPTÉES AU PARC	19
4. RÉSULTATS	20
4.1 SUIVI DE MORTALITÉ.....	20
4.2 SUIVI ACOUSTIQUE EN NACELLE	32
5. ÉVALUATION DES IMPACTS	35
5.1 ÉVALUATION DES RISQUES DE COLLISION SPÉCIFIQUES AU PARC	35
5.2 IMPACT INDIRECT DES ÉOLIENNES SUR LA FRÉQUENTATION DES HABITATS PAR LES CHIROPTÈRES ET LES OISEAUX	35
5.3 ÉLÉMENTS DE COMPARAISON AVEC L'ÉTUDE D'IMPACT (ECOSPHERE, 2012) ..	36
6. MESURES DE RÉDUCTION DES RISQUES DE COLLISION	37
6.1 PROTECTION DES CHAUVES-SOURIS FRÉQUENTANT LE PARC PAR UN BRIDAGE NOCTURNE DIFFÉRENCIÉ	37
6.2 CONTRÔLE DE L'ÉCLAIRAGE NOCTURNE	40
6.3 GESTION DES HABITATS AUTOUR DES ÉOLIENNES	40
7. MESURES DE SUIVI	40
8. BIBLIOGRAPHIE	41
ANNEXE 1 : DATES DE PROSPECTION DU SUIVI DE MORTALITÉ	43
ANNEXE 2 : OCCUPATION DU SOL ET DÉTAIL DES SURFACES PROSPECTÉES PAR ÉOLIENNE AU	44
ANNEXE 3 : SYNTHÈSE DES CADAVRES DÉCOUVERTS LORS DU SUIVI DE MORTALITÉ	45
ANNEXE 4 : DÉTAIL DES ESTIMATIONS DE LA MORTALITÉ RÉELLE PAR ÉOLIENNE	46

1. CADRE TECHNIQUE ET RÉGLEMENTAIRE D'UN SUIVI POST-IMPLANTATION

L'arrêté du 26 août 2011, dans son article 12, précise pour une installation classée ICPE :

« Au moins une fois au cours des trois premières années de fonctionnement de l'installation puis une fois tous les dix ans, l'exploitant met en place un suivi environnemental permettant notamment d'estimer la mortalité de l'avifaune et des chiroptères due à la présence des aérogénérateurs. Lorsqu'un protocole de suivi environnemental est reconnu par le ministre chargé des installations classées, le suivi mis en place par l'exploitant est conforme à ce protocole. Ce suivi est tenu à disposition de l'inspection des installations classées ».

Ce suivi doit également être conforme aux dispositions applicables aux ICPE relatives à l'étude d'impact. Ainsi, l'article R122-14 du code de l'environnement prévoit que :

« - La décision d'autorisation, d'approbation ou d'exécution du projet mentionne :

- 1° Les mesures à la charge du pétitionnaire ou du maître d'ouvrage, destinées à éviter les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine, réduire les effets n'ayant pu être évités et, lorsque cela est possible, compenser les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine qui n'ont pu être ni évités ni suffisamment réduits ;
- 2° Les modalités du suivi des effets du projet sur l'environnement ou la santé humaine ;
- 3° Les modalités du suivi de la réalisation des mesures prévues au 1° ainsi que du suivi de leurs effets sur l'environnement, qui font l'objet d'un ou plusieurs bilans réalisés selon un calendrier que l'autorité compétente pour autoriser ou approuver détermine. Ce ou ces bilans sont transmis pour information par l'autorité compétente pour prendre la décision d'autorisation, d'approbation ou d'exécution à l'autorité administrative de l'État compétente en matière d'environnement. »

En novembre 2015, l'État a publié un protocole standardisé permettant de réaliser les suivis environnementaux. Il guide également la définition des modalités du suivi des effets du projet sur l'avifaune et les chiroptères prévu par l'article R122-14 du code de l'environnement.

Entre 2016 et 2017, ce protocole national s'est avéré inadapté à l'usage et généralisait des mesures qui n'avaient en fait de sens que pour certains parcs. Des travaux associant les administrations, les professionnels de l'éolien (FEE & SER), les associations de protection de la biodiversité (LPO & SFPEM) et le Muséum National d'Histoire Naturelle ont permis alors d'aboutir à un nouveau consensus. Sur cette base, une décision ministérielle a été publiée le 5 avril 2018¹ avec un nouveau protocole national de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres.

Ce protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres révisé en 2018 préconise un suivi de mortalité constitué au minimum de 20 passages (entre les semaines 20 à 43). Le suivi pourra être renforcé sur cette même période (augmentation de la fréquence des passages) ou élargi à d'autres périodes de l'année selon les conclusions de l'étude d'impact, les prescriptions potentielles des arrêtés

préfectoraux ou si les premiers résultats des suivis de mortalité indiquent des niveaux de mortalité significatifs.

Aussi, un suivi d'activité en hauteur des chiroptères sera couplé au suivi de mortalité à minima des semaines 31 à 43, et qui pourra également être élargi en fonction des enjeux et risques d'impact identifiés.

Le tableau suivant synthétise les périodes de suivi préconisées selon les caractéristiques du parc éolien.

Tableau 1 : Période sur laquelle doit être effectué le suivi de mortalité de l'avifaune et le suivi d'activité des chiroptères en hauteur en fonction des enjeux (tiré du Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres. Révision 2018)

Semaine n°	1 à 19	20 à 30	31 à 43	44 à 52
Le suivi de mortalité doit être réalisé ...	Si enjeux avifaunistiques ou risque d'impact sur les chiroptères spécifiques *	Dans tous les cas *		Si enjeux avifaunistiques ou risque d'impact sur les chiroptères *
Suivi d'activité en hauteur des chiroptères	Si enjeux sur les chiroptères	Si pas de suivi en hauteur dans l'étude d'impact	Dans tous les cas	Si enjeux sur les chiroptères

* Le suivi de mortalité des oiseaux et des chiroptères est mutualisé. Ainsi, tout suivi de mortalité devra conduire à rechercher à la fois les oiseaux et les chiroptères (y compris par exemple en cas de suivi étendu motivé par des enjeux avifaunistiques).

Dans le cas du parc éolien des Champs d'Amour, l'étude ayant été contractualisée en juillet 2019 sur la base de premières préconisations datant de juin 2017, la société CE des Champs d'Amour a demandé la réalisation d'un suivi sur la période réduite de mi-août à mi-octobre 2019 (semaines 34 à 41), soit 16 passages à raison de 2 passages tous les 7 jours.

¹ Décision du 5 avril 2018, NOR : TREP1807992S

2. PRÉSENTATION DU PARC ÉOLIEN

2.1 LOCALISATION ET CONTEXTE ÉCOLOGIQUE

Voir la carte « Localisation du parc éolien ».

Le parc éolien des Champs d'Amour est situé sur les communes de Meunet-sur-Vatan et Reboursin près de Vatan dans le département de l'Indre (36) en région Centre-Val de Loire. Le parc est ainsi localisé en Champagne-Berrichonne à environ 20 km au sud-ouest de Vierzon, et à 30 km au nord de Châteauroux. Il est par ailleurs situé au nord de l'autoroute A20, au niveau de l'aire des Champs d'Amour. Le parc est constitué de 4 éoliennes, toutes implantées en cultures intensives.

Ce parc s'inscrit ainsi dans un contexte de grandes cultures agricoles, avec toutefois des haies, bosquets et boisements se trouvant aux abords, certains à moins de 200 m des machines.



Contexte écologique aux abords des éoliennes (L. Boutault - Ecosphère)



Vue d'ensemble du parc éolien début septembre (L. Boutault - Ecosphère)

2.2 CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU PARC ÉOLIEN

Le parc éolien des Champs d'Amour est composé de 4 éoliennes mises en service en février 2018, toutes du modèle Vestas V110/2200.

Tableau 2 : Caractéristiques du parc éolien des Champs d'Amour

Date de mise en service	Février 2018
Modèle	Vestas V110/2200
Nombre d'éoliennes	4
Exploitant	Centrale Eolienne des Champs d'Amour SAS
Puissance cumulée	8,8 MW

2.3 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES ÉOLIENNES EN SERVICE

Tableau 3 : Caractéristiques des éoliennes Vestas V110/2200

Hauteur du moyeu	95 m
Diamètre du rotor	110 m
Garde au sol	40 m
Zone de balayage du rotor	9 504 m ²
Puissance nominale	2,2 MW
Vitesse de connexion (cut-in wind speed)	3 m/s
Vitesse max d'arrêt (10 min en moyenne)	20 m/s
Vitesse de rotation maximale	14,1 tours/minute
Vitesse de rotation minimale	7,9 tours/minute

2.4 SITUATION ÉCOLOGIQUE ANTÉRIEURE AU PARC – RAPPEL DE L'ÉTUDE D'IMPACT ÉCOLOGIQUE (EIE)

Les conclusions présentes dans le résumé non technique de l'étude d'impact écologique réalisé en amont de la construction du parc ont pu être consultées. Une analyse de ce contenu de l'étude d'impact écologique datant de 2011 est réalisée conformément aux objectifs du suivi afin de pouvoir mesurer la conformité ou l'éventuel écart avec la situation écologique actuelle.

2.4.1 GÉNÉRALITÉS

L'EIE se base sur des inventaires de terrain réalisés en 2011 :

- les inventaires floristiques ont été réalisés en avril, mai et juin 2011, soit en période optimale pour un inventaire en milieu agricole et prairial.
- Les inventaires ornithologiques ont été réalisés entre janvier et novembre 2011, soit sur un cycle biologique complet pour les oiseaux (reproduction, migration postnuptiale, hivernage, migration pré-nuptiale). Les oiseaux nicheurs ont été inventoriés sur la base de 2 passages en saison de reproduction (en mai et juin 2011).
- Concernant les chauves-souris, la zone d'étude et ses abords immédiats ont été prospectés à pied au cours de trois soirées à deux chiroptérologues en juin, août et septembre 2011. L'analyse des données bibliographiques a permis d'affiner les connaissances chiroptérologiques du secteur dans un rayon de 20 km.

2.4.2 ENJEUX FLORE ET HABITATS

Au total, 308 espèces végétales ont été recensées se répartissant dans 9 habitats principaux comprenant essentiellement des cultures ponctuées de bosquets. Concernant les zones humides, il était à noter la présence d'une grande mare située à l'ouest du lieu-dit « Coublou » et de petites portions de fossés de drainages où on retrouve un niveau d'eau permettant à une flore riche et caractéristique des zones humides de se développer.

L'intérêt phytoécologique du site apparaissait globalement faible, en raison de l'omniprésence des cultures intensives au sein de la zone d'implantation. Cependant, plusieurs espèces végétales remarquables étaient présentes de façon ponctuelle : au niveau d'une mare située au cœur du site qui abrite deux espèces protégées au niveau régional (la Samole de Valérand et la Germandrée des marais). Les bermes herbeuses, les fossés humides ou les marges de cultures peuvent receler des espèces remarquables par leur rareté tel l'Aristolochie clématite (extrêmement rare pour la région Centre) ou des espèces messicoles tels l'Adonis d'automne ou la Petite brize.

Ainsi, un enjeu floristique très fort avait été attribué à une mare, et un enjeu faible à localement assez fort attribué aux fossés ainsi qu'aux végétations commensales des cultures.

2.4.3 ENJEUX FAUNE

Les enjeux concernant la faune étaient globalement faibles, parfois modérés.

2.4.3.1 L'Avifaune

Pour les oiseaux, la diversité spécifique nicheuse globale de l'ensemble du site d'étude et de ses abords était de 69 espèces soit environ **36 % des espèces nicheuses en région Centre**. Parmi celles-ci, **16 étaient considérées comme peu fréquentes en région Centre** (effectifs nicheurs < 5 000 couples).

Le site se trouve sur l'axe majeur (front large de plus de 100 km) de migration de la Grue cendrée et sur un axe diffus pour les autres espèces migratrices.

Les relevés ponctuels de 2011 montrent des flux migratoires moyens et la présence de voies de déplacement privilégiées (certaines espèces privilégiaient la vallée du ruisseau de Meunet et les continuités boisées au nord du site longeant l'Autoroute, et menant jusqu'au Parc naturel régional de la Brenne situé à une quarantaine de kilomètres au sud-ouest). La zone d'étude pouvait potentiellement être traversée par des espèces à enjeu (inscrites à l'annexe I de la directive Oiseaux) telles que la Grue cendrée, qui passe en troupes de plusieurs dizaines à plusieurs centaines d'individus à proximité du site d'étude.

L'intérêt ornithologique était de niveau moyen pour la partie nord de la zone d'étude et pour les boisements âgés, les alignements de grands arbres, le verger entre les lieux-dits « l'Abeaupinière » et « la Guérinière », ainsi que pour les cultures au sud-est du lieu-dit « la Berthommière ». Il était faible sur le reste de la zone. Le site ne présentait pas non plus d'intérêt particulier pour l'hivernage.

2.4.3.2 Les chiroptères

Concernant les chauves-souris (Chiroptères), 12 espèces avaient été contactées au détecteur d'ultrasons sur la zone d'étude et ses abords immédiats. La Pipistrelle commune a composé la majorité des contacts enregistrés.

Il apparaissait que **la zone d'étude au nord de l'autoroute A20 présentait un niveau d'enjeu chiroptérologique pouvant être qualifié d'assez fort** du fait de la présence de gîtes d'été de Noctules, de Pipistrelle commune et de murins. Une espèce à enjeu fort, la Pipistrelle de Nathusius, une autre à enjeu assez fort, la Noctule de Leisler, ainsi que la Barbastelle à enjeu moyen avaient été contactées sur l'ensemble de cette zone.

Sur le site d'implantation, la zone au sud de l'autoroute A20 est constituée principalement par des grandes cultures et ne présentait ainsi **qu'un faible intérêt pour les chauves-souris**. Aucun gîte n'y a été identifié.

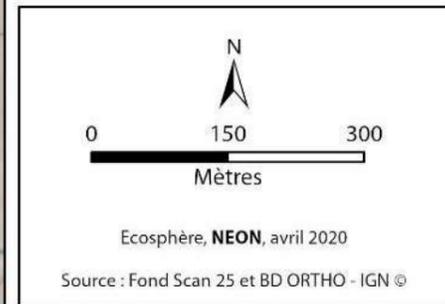
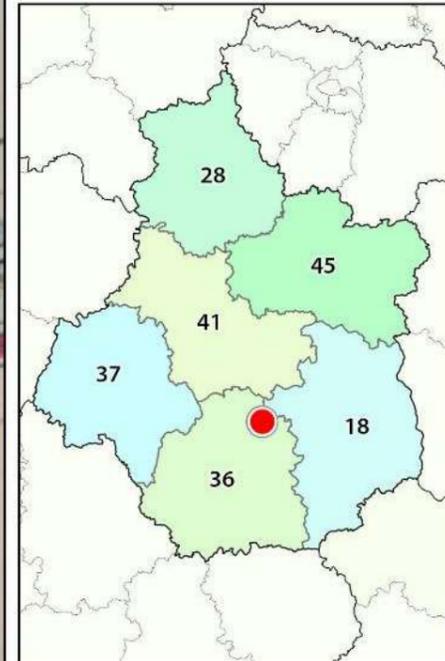
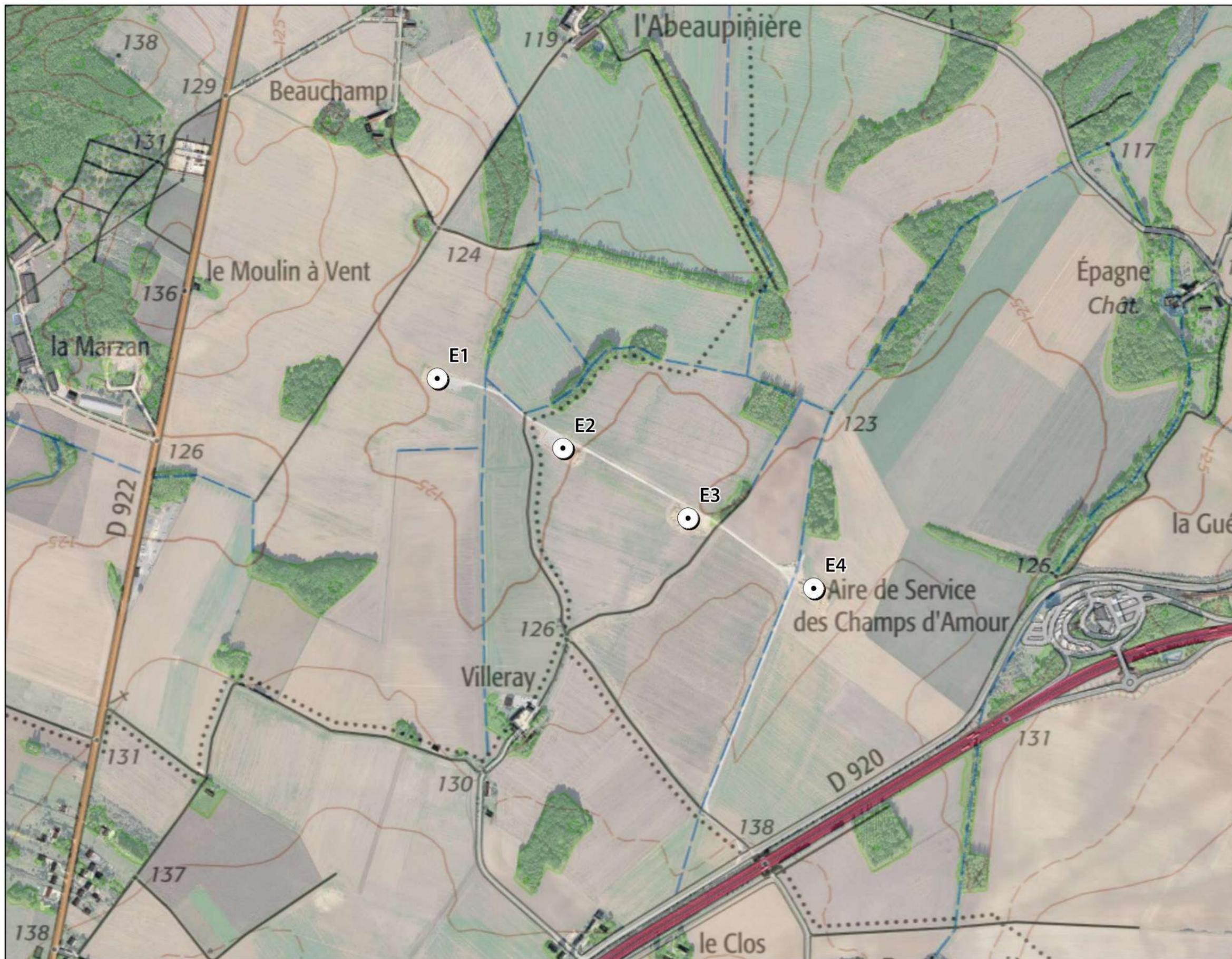
Au sein des parcelles agricoles ouvertes correspondant au site d'implantation, des contacts de Pipistrelle de Nathusius et la Noctule de Leisler ont été enregistrés de juin à septembre mais en très faibles effectifs (< 20 contacts/nuit). S'agissant d'individus isolés, cela laissait penser qu'il n'y a pas de passage migratoire significatif de chauve-souris au-dessus de cette zone d'étude.

Aux abords immédiats, le bâti et les lisières boisées adjacentes (Coublou, Aigremont, Mizeray, la Berthommière et Terluet) étaient bien plus fréquentés.

2.4.3.3 Autre faune

Les autres groupes faunistiques (amphibiens, reptiles, mammifères terrestres, insectes) présentaient un **enjeu nul** dans la zone d'étude. Concernant les autres groupes faunistiques, les inventaires ne sont pas exhaustifs. Ils ont cependant permis de détecter sur le site et ses proches abords : 3 mammifères terrestres, 9 libellules, 6 papillons diurnes, 7 orthoptères (criquets, grillons et sauterelles).

Le site présente également un intérêt entomologique limité : papillons diurnes et orthoptères observées sur le site étaient pour la plupart communs. Enfin, les deux espèces de libellules observées sur le site d'implantation sont remarquables. Il s'agit de l'Agrion de Mercure, rare en région Centre, protégé au niveau national et inscrit à l'annexe II de la directive « habitats » et le Cordulégastre annelé peu commun. Ces deux espèces ont été observées au sein d'un fossé à l'ouest du lieu-dit « Coublou » qui présente alors **un intérêt odonatologique assez fort**.



3. MÉTHODES DE TRAVAIL

3.1 SUIVI DE MORTALITÉ DES CHAUVES-SOURIS ET DES OISEAUX

3.1.1 PRESSION D'ÉCHANTILLONNAGE

3.1.1.1 Eoliennes suivies

Les **4 éoliennes du parc**, ont été inspectées à chaque passage en appliquant la même méthodologie, selon un protocole standardisé conforme au protocole ministériel de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres en vigueur depuis avril 2018.

3.1.1.2 Calendrier du suivi

Sur la base de premières préconisations d'Ecosphère datant de juin 2017, Neoen a souhaité la réalisation de **16 passages, à raison de 2 par semaine entre la mi-août et la mi-octobre**. Le suivi a ainsi été réalisé **entre le 20 août et le 11 octobre 2019**.

La période couverte par le suivi de mortalité, **entre août et octobre**, correspond à la **migration postnuptiale**. En août, on note de forts passages de chauves-souris migratrices (notamment les noctules) et de divers passereaux. C'est souvent à cette période que les cas de mortalité sont les plus nombreux. De nouveaux pics de passage sont enregistrés en septembre, avec les mouvements de Pipistrelle de Nathusius, aussi sensibles au risque de collision. Différentes vagues de migration se poursuivent pour les oiseaux au cours de l'automne, avec des pics de passage d'autres espèces sensibles en octobre (Milan royal, Alouette des champs...), alors que l'activité des chiroptères diminue fortement avec les premiers coups de froids.

La fréquence des passages a été constante durant la durée du suivi, à savoir 2 passages par semaine (**intervalle moyen entre chaque passage de 3,5 j**).

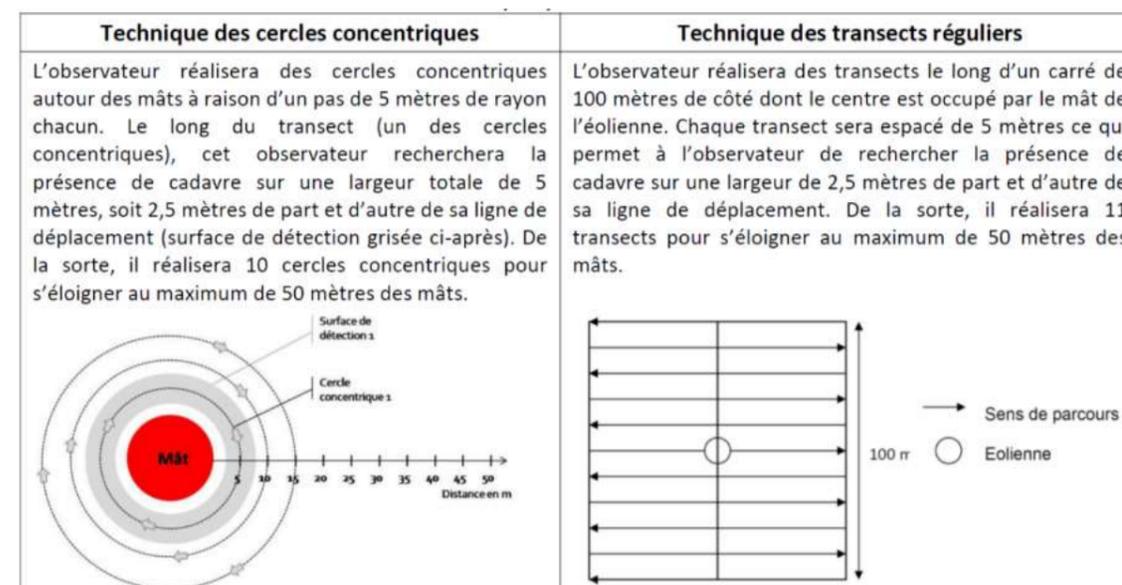
Le détail des dates de suivi est présenté en annexe 1.

3.1.2 RECUEIL DES DONNÉES BRUTES DE MORTALITÉ

Le protocole d'étude directe de la mortalité implique la recherche de cadavres d'oiseaux et de chiroptères au sol.

3.1.2.1 Méthode pour la recherche des cadavres et surfaces prospectées

Il existe deux méthodes de travail qui dépendent pour partie des caractéristiques du terrain (arbres, haies...): **les cercles concentriques** ou **les transects**. Les deux méthodes sont équivalentes, mais **la même méthode a été appliquée tout au long de la démarche**.



Conformément aux recommandations formulées par Eurobats (Rodrigues *et al.*, 2014) et du protocole de suivi environnemental actuellement en vigueur, dans le cas de machines présentant des pales de longueur supérieure à 50 m, les prospections doivent se faire dans un rayon équivalent à la longueur des pales autour des mâts des machines. **Pour le parc éolien des Champs d'Amour, les prospections se sont donc effectuées dans un rayon de 55 mètres autour des mâts des machines puisque le diamètre du rotor est de 110 m**. D'après la bibliographie, une majorité des cadavres tombe dans un rayon de 50 m autour des mâts (GRÜNKORN *et al.*, 2005 ; BRINKMANN *et al.*, 2011), s'agissant du rayon minimal à suivre.

Cette surface a été prospectée en réalisant des transects autour des mâts des éoliennes suivies. Chaque transect est espacé de 5 mètres ce qui permet à l'observateur de rechercher la présence de cadavre sur une largeur de 2,5 mètres de part et d'autre de sa ligne de déplacement. En effet, Arnett *et al.*, (2005) ont démontré que l'efficacité chute fortement au-delà d'une distance de 3 mètres. De la sorte, l'observateur a réalisé 11 transects pour s'éloigner au maximum de 55 mètres des mâts. Précisons que ces itinéraires ont été réalisés d'un pas lent et régulier pour une détectabilité optimale, et au moins une heure après le lever du soleil pour minimiser l'impact de la prédation diurne, et quand les conditions lumineuses sont suffisantes.

Si le suivi direct de la mortalité se révèle pertinent pour évaluer les effets d'un parc, il peut s'avérer extrêmement difficile voire impossible dans les cas où le couvert végétal est trop dense (Cornut & Vincent, 2010). Durant la période échantillonnée, les surfaces prospectables peuvent varier selon l'assolement autour des éoliennes (blé, colza, exploitant en activité dans les parcelles, ...). Le tableau suivant décrit les 3 classes de végétation utilisées pour définir les niveaux de visibilité. A chaque passage le niveau de visibilité a été renseigné sur chaque parcelle ou habitat. **Une estimation de la surface prospectée autour des machines a ainsi été calculée pour chaque visite** à partir de la cartographie des habitats sous SIG. Ces données sont ensuite intégrées dans le calcul des taux de détection afin d'interpréter correctement les résultats.

Tableau 4 : Classes de végétation relevées sur le terrain

Classe de végétation	Type de végétation	Suivi de mortalité
Classe 1	Végétation haute et dense, sans visibilité au sol => cultures	Visibilité nulle = non prospectée
Classe 2	Végétation recouvrante mais de hauteur faible à moyenne ou végétation peu couvrante mais pouvant être haute => friches, sarrasin	Visibilité moyenne = prospectée
Classe 3	Végétation de faible hauteur, peu couvrante à absence de végétation => plateformes, chemins, labours, céréales moissonnés	Visibilité bonne = prospectée

Le détail des surfaces réellement prospectées au cours du suivi est présenté en annexe 2.



Classe de visibilité 3 (bonne) ; labour fin avec semis (E. Brunet – Ecosphère)



Classe de visibilité 3 (bonne) ; céréales fauchées (L. Boutault – Ecosphère)



Classe de visibilité 2 (moyenne) au pied du mât : plateforme enrichie ; et classe de visibilité 1 (nulle) en arrière-plan : culture de maïs à végétation dense (L. Boutault – Ecosphère)

Après avoir identifié et photographié les cadavres découverts autour des éoliennes suivies, les informations suivantes ont été notées :

- localisation du cadavre par rapport à l'éolienne : relevé GPS afin de définir la localisation précise et d'en déduire la distance au mât ;
- état du cadavre : degré de dégradation, type de blessure apparente, temps estimé de la mort, analyse des causes de mortalité, etc. ;

- selon les besoins, des mesures complémentaires peuvent être relevées : âge, sexe, biométrie (longueur de l'avant-bras, du 3e et/ou du 5e doigt, etc. pour les chiroptères).

3.1.2.2 Identification des espèces

L'identification à l'espèce, notamment des chauves-souris, représente une plus-value importante lors de l'analyse des résultats, en permettant de distinguer des espèces ayant des comportements différents (sédentaires ou migratrices) ou encore des statuts de menace et de rareté différents.

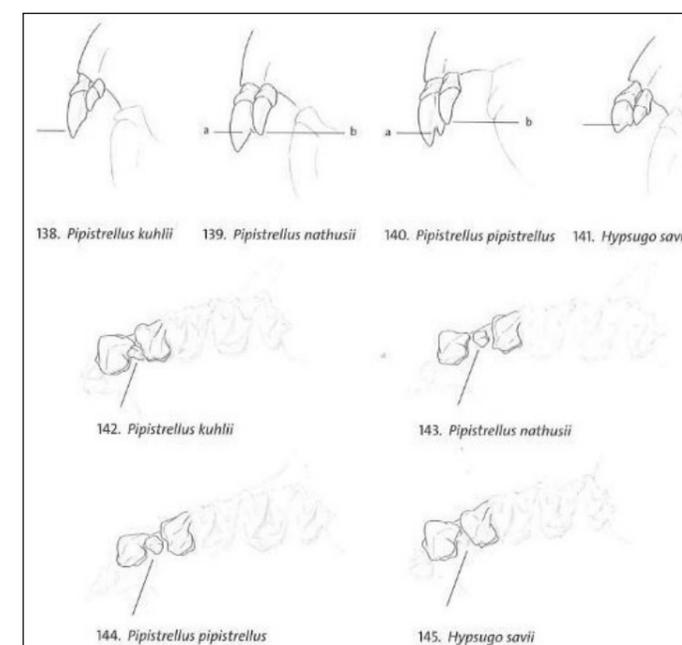
Dans ce cadre, la prise des différentes mesures biométriques nécessaires à l'identification n'est généralement possible qu'avec une manipulation du cadavre de chauve-souris, voire son prélèvement pour l'observation et les mesures de la dentition sous loupe binoculaire. S'agissant d'espèces protégées, une demande de dérogation pour la capture ou l'enlèvement de cadavres de chiroptères protégés au niveau national a été faite et obtenue auprès de la Direction Départementale des Territoires de l'Indre (Cerfa 13616-01).

Tous les cadavres ont été ainsi, autant que possible, identifiés à l'espèce.

Pour les chiroptères, différents ouvrages ont pu être utilisés pour l'identification en fonction de l'état dans lequel est le cadavre au moment de sa découverte :

- La clé d'identification illustrée des chauves-souris d'Europe, par Dietz & von Helversen (2004) ;
- La clé morphologique et la clé des crânes présentes dans le guide : Mammifères de Suisse : clés de détermination, détermination par Marchesi *et al.* (2011).

Les deux premières clés sont principalement utilisables pour des individus en bon (voire très bon) état. La troisième clé permet une identification à l'espèce à partir du crâne et tout particulièrement de la dentition.



Différenciation des pipistrelles à partir de quelques critères de dentition (Source : Fauna Helvetica, 2011)

En effet, certaines espèces, même en bon état de conservation, sont difficilement identifiables avec certitude sans la dentition, en raison d'un haut degré de variabilité intraspécifique, comme c'est tout particulièrement le cas pour le genre *Pipistrellus*. L'identification de l'espèce s'effectue en mesurant les rangées dentaires (de la canine à la 3^{ème} molaire) et la distance entre la 1^{ère} et la 3^{ème} molaire, puis en vérifiant les autres critères, discriminants (présence/absence de protoconule, de métalophe/paralophe) et distinctifs (matrice présente dans la clé des crânes, Marchesi *et al.* (2011)). **Dans le cas présent, tous les chiroptères ayant été découverts sur le parc des Champs d'Amour ont pu être identifiés à l'espèce.**

Pour les oiseaux, les ouvrages suivants ont été consultés :

- Svensson I., Grant P., Mullarney K. & Zetterström D. 2010. Le guide ornitho. Delachaux & Niestlé, Paris, 2e édition, 447 p ;
- Demongin L. 2015. Guide d'identification des oiseaux en main. Les 250 espèces les plus baguées en France. Beauregard-Vendon. 310 p.

Dans certains cas, le cadavre a été dévoré et seules les plumes restent. Elles possèdent pour la plupart des caractéristiques particulières permettant de spécifier l'individu. Dans ce cas, le guide suivant peut aider à l'identification :

- Fraigneau C. 2017. Identifier les plumes des oiseaux d'Europe occidentale. Delachaux & Niestlé, Paris. 400 p.

3.1.3 ESTIMATION DE LA MORTALITÉ RÉELLE À PARTIR DES DONNÉES BRUTES

Des écarts importants peuvent exister entre la mortalité brute découverte lors du suivi et la mortalité réelle. Aussi, des modèles correctifs sont utilisés pour tenir compte des différents biais.

Le paramètre clé pour estimer la mortalité des chauves-souris et des oiseaux à partir de la recherche de cadavres est la **probabilité de détection (b)**, c'est-à-dire la probabilité qu'un animal tué soit retrouvé, celle-ci étant fonction :

- **de la surface réellement contrôlée (a)**. La surface prospectée ne contient pas, en général, la totalité des cadavres tués par l'éolienne et parfois seule une portion de la surface est accessible (limite de la surface de prospection en culture dense, en zones boisées, etc.) ;
- **du taux de persistance des carcasses (p)**. En effet, la disparition des cadavres est plus ou moins rapide selon l'abondance des charognards, les disparitions pouvant avoir lieu dans la nuit même ou sur un nombre de jours plus ou moins important ;
- **de l'efficacité du chercheur (d, ou Pk dans certaines publications)**. La performance de l'observateur pour la découverte des cadavres peut varier selon les personnes (formation et expérience) mais aussi selon la saison (hauteur de la végétation, présence des feuilles mortes, etc.).

Les estimations de cette probabilité de détection peuvent se faire selon plusieurs modèles d'estimation statistique, chacun ayant des avantages et des inconvénients.

La manière apparemment la plus simple consiste, pour une aire prospectée totalement, à estimer cette probabilité de détection comme étant le produit de l'efficacité des enquêteurs et de la probabilité de disparition des cadavres ($b = p \cdot d$). C'était l'approche utilisée par la première méthode développée au début des années 90, mais elle ne tenait pas compte de la fréquence des passages (tendance à la surestimation de la mortalité ; Korner-Nievergelt *et al.*, 2011).

Une deuxième méthode, dite d'Erickson, a mieux pris en compte à partir de l'année 2000 la fréquence des passages ainsi que la persistance des cadavres, mais elle sous-estimait légèrement la mortalité (sauf pour des temps de persistance longs ; Korner-Nievergelt *et al.*, 2011) comparativement aux différentes méthodes les plus modernes présentées ci-dessous (Jones, Huso et Korner).

En fait, **l'utilisation d'une relation exponentielle (Jones, Huso) ou d'une relation statistique complexe (Korner) rendent l'analyse plus fine** avec en particulier un poids plus important donné à la probabilité de disparition des cadavres. La formule de Korner-Nievergelt *et al.*, (2011) est en général la méthode la plus fiable lorsque l'efficacité du chercheur et le taux d'enlèvement des cadavres par les prédateurs sont constants. Lorsque ces paramètres varient, les biais sont proches entre les différentes méthodes. Il n'existe à ce jour pas de modèle universel (Bernardino *et al.*, 2013). En revanche, **quelque-soit la méthode utilisée, les estimations sont sous-estimées pour des durées de persistance courtes et des intervalles de recherches supérieurs à 7 jours** (Korner-Nievergelt *et al.*, 2011).

Les paragraphes suivants justifient les modes de calculs et les paramètres utilisés.

3.1.3.1 Paramètres et biais pris en compte

❖ Ajustement de la surface réellement contrôlée (a)

L'une des principales difficultés consiste à corriger les données en fonction de la surface réellement prospectée par rapport à la surface théorique du protocole. Ces différences sont liées en général à la topographie et/ou à la densité de la végétation. **Le coefficient de correction surfacique renseigne alors sur le pourcentage de cadavres non relevés par l'observateur.** Deux facteurs rendent difficiles l'appréciation :

- plus la surface réellement prospectée est petite, plus la marge d'erreur est grande ;
- la répartition spatiale des carcasses influe sur les calculs.

La formule développée par Arnett *et al.* (2005) tient compte de la proportion des surfaces inspectées par rayon et de la répartition spatiale des cadavres. Elle s'exprime de la façon suivante :

$$A = \frac{\sum_{k=1}^7 \frac{C_k}{P_k \cdot S_k}}{\sum_{k=1}^7 \frac{C_k}{P_k}}$$

Avec :

Sk : la proportion du cercle concentrique k prospecté

Ck : le nombre de cadavres comptés sur le cercle concentrique k

Pk : la probabilité de détection, ou efficacité de l'observateur (ici notée d)

Behr *et al.* (2011) considèrent que si la surface pouvant être prospectée est inférieure à 40 % dans les 50 mètres autour du mât, il n'est pas possible d'obtenir des résultats cohérents. Ils ne sont plus fiables statistiquement. En tout état de cause, lorsque la zone n'a pas pu être entièrement parcourue, la surface contrôlée pour chaque éolienne a été systématiquement estimée.

Dans le cas de ce suivi, l'utilisation de l'application « EolApp »² (détaillée ci-après) ne nécessite pas directement les résultats de ces calculs fins ; mais se base plutôt sur les évaluations des surfaces prospectées (exprimées en pourcentage de la surface théorique de prospection autour d'une éolienne et moyenné sur toutes les valeurs obtenues pour les 4 éoliennes du parc).

❖ Taux de persistance journalière des cadavres (p)

Comme vu précédemment, le taux de persistance des cadavres est une donnée fondamentale, il équivaut à la proportion de dépouilles qui demeurent durant l'intervalle compris entre deux recherches (Cornut et Vincent, 2010). La durée de persistance des carcasses en jours dépend à la fois de la pression de prédation locale et de la capacité de dégradation in situ des animaux morts. Une partie des chauves-souris et des oiseaux tués par les éoliennes disparaît avant qu'elle ne puisse être découverte dans le cadre des prospections. En effet, des charognards (mammifères, oiseaux, insectes) peuvent dévorer, enterrer ou déplacer les carcasses.

Il existe **une grande variabilité de persistance des carcasses** dans le temps et dans l'espace. En effet, celui-ci change selon les sites en raison des différences de comportement ou de densité des charognards, de la température et de l'humidité. À titre indicatif, en Allemagne, Niermann *et al.* (2011) ont annoncé que le taux de persistance variait de 1,3 à 24,5 jours pour une valeur moyenne de 4,2 jours. En fonction des périodes, ce taux peut atteindre une valeur nulle ou très petite c'est-à-dire que les cadavres disparaissent très rapidement. Santos *et al.* (2011) démontrent que **les temps de persistance sont très faibles en Europe notamment pour les chiroptères et les petits oiseaux**, avec une probabilité de disparition très élevée dans les 2 premiers jours par rapport à d'autres groupes d'animaux.

Dans le cadre de ce suivi, et en accord avec les recommandations du protocole de suivi environnemental, un seul test de persistance a été effectué en début de suivi, le 27/08/2019. Il a consisté à déposer **5 cadavres de souris** fraîchement décongelés autour des 4 éoliennes du parc (**soit 20 cadavres au total**). Afin de mimer au mieux les conditions réelles et éviter l'ajout d'un biais supplémentaire, les souris (blanches) ont été enduites de terre pour les rendre sombres et pour qu'elles aient ainsi un aspect proche de celui des cadavres réellement trouvés au pied des éoliennes (petites chauves-souris brunes/noires, passereaux brunâtres, ...). Aussi, **les souris ont été déposées aléatoirement sur l'emprise de la surface théorique à prospecter, et réparties sur l'ensemble des types d'habitats présents, hormis ceux avec une visibilité nulle ou mauvaise (classe 3)**.

Ensuite, la persistance de ces cadavres « non naturels » a été contrôlée à raison **d'un premier passage le lendemain de la dépose (J+1), puis de 2 passages par semaine jusqu'à disparition des cadavres ou après une période de 14 jours**, soit à J+3, J+7, J+10 et J+14. (Voir l'annexe 1 pour le détail des dates de suivi).

Les contrôles de persistance des cadavres « non naturels » ont ainsi permis d'évaluer :

- la probabilité de persistance quotidien et à 3 jours (intervalle de temps moyen entre chaque passage) ;
- le temps moyen de persistance en jours à j+3.

Ces résultats sont nécessairement intégrés dans les modèles statistiques qui suivent.



Cadavres de souris déposés pour le test de prédation (sur une plateforme à gauche, dans un labour à droite (E. Brunet - Ecosphère)

❖ Efficacité de l'observateur (d, ou Pk)

Toutes les méthodes utilisent le facteur *d*, c'est-à-dire le taux de détection (ou d'efficacité) par l'enquêteur. L'efficacité de recherche décrit la proportion de cadavres retrouvés après la prospection. Elle varie en fonction de la personne (Niermann *et al.*, 2011) et surtout du couvert végétal (Rodrigues *et al.*, 2014).

Pour évaluer le taux d'efficacité, il convient habituellement de réaliser des tests de détectabilité. Ils sont effectués en fonction de classes de végétation définies par la combinaison de la hauteur de végétation, de la visibilité du site et de la topographie (Rodrigues *et al.*, 2014). Le principe est de dissimuler des cadavres et de compter le nombre de leurres retrouvés par l'enquêteur testé qui effectue sa prospection comme lors d'une recherche normale.

L'efficacité de l'observateur principal à détecter des cadavres a été testée le 13/09/2019. Pour ce faire, des leurres en caoutchouc ont été déposés aléatoirement dans le périmètre prospecté en amont des recherches de mortalité, au sein des classes de végétation praticable (visibilité bonne et moyenne). Selon le nombre de leurres artificiels retrouvés par l'observateur, le taux d'efficacité a pu être calculé par le rapport entre le nombre de leurres découverts et le nombre de leurres déposés.

$$d = \frac{\text{Nombre de leurres découverts}}{\text{Nombre de leurres déposés}}$$

Cette efficacité dépend des classes de végétation définies par la combinaison de la hauteur de végétation, de la visibilité du site et de la topographie (Rodrigues *et al.*, 2008). Sur le parc étudié, la proportion de chaque type de culture/habitat a été notée lors de chaque passage et associée à un niveau de visibilité : visibilité nulle, moyenne, bonne.

² <https://shiny.cefe.cnrs.fr/eolapp/>



Leurres déposés dans différents habitats pour le test d'efficacité des observateurs
(L. Boutault ; M. Acqueberge – Ecosphère)

3.1.3.2 Modèles statistiques

❖ [Modèle d'Erickson \(2000\)](#)

Erickson emploie une formule qui intègre la durée de persistance moyenne des cadavres et la fréquence des passages.

$$N = \frac{I \times C}{tm \times d}$$

Avec :

I : Intervalle moyen entre deux visites (en jours)
tm : durée moyenne de persistance (en jours)
d : efficacité de l'observateur
C : nombre de cadavres découverts

L'estimateur Erickson *et al.* (2000) est fréquemment utilisé en France. Ce test a plutôt tendance à sous-estimer les données (Korner-Nievergelt *et al.*, 2011) pour les taux de persistance courts mais pas pour les taux de persistance longs. Cette sous-estimation est aussi constatée par Péron (2018) qui suppose que cela peut être lié au postulat d'effort de recherche constant. La formule intègre la fréquence des passages mais n'est pas demandeuse quant à la durée moyenne entre les passages. Elle considère une diminution exponentielle des temps de disparition des cadavres qui peuvent être trouvés lors des passages ultérieurs au premier passage infructueux.

❖ [Modèle de Jones \(2009\)](#)

La méthode proposée par Jones *et al.* (2009), pour estimer la mortalité repose sur plusieurs hypothèses :

- le taux de mortalité est considéré comme globalement constant sur l'intervalle de recherche ;
- la durée de persistance d'un cadavre suit une variable exponentielle négative, le taux de persistance étant calculé ainsi (Tm = durée moyenne de persistance en jours) :

$$p = e^{-0.5 \times I / tm}$$

- la probabilité de disparition moyenne sur l'intervalle entier (quand des animaux peuvent aussi bien être impactés et mourir au début ou à la fin de l'intervalle) peut être approximée par la probabilité de disparition à la moitié de l'intervalle.

La formule pour calculer le nombre de cadavres estimé est la suivante :

$$N = \frac{C}{a \times d \times \hat{e} \times e^{(-0.5 \times I / tm)}}$$

Avec :

C : nombre de cadavres découverts
a : coefficient de correction surfacique (cf. 3.1.3.1)
d : efficacité de l'observateur (cf. 3.1.3.1)
tm = durée moyenne de persistance en jours
I : Intervalle moyen entre deux visites
 \hat{I} : Intervalle effectif moyen
 \hat{e} : coefficient correcteur moyen de l'intervalle équivalent à $\frac{\text{Min}(I; \hat{I})}{I}$

Jones utilise la notion d'« intervalle effectif » pour calculer le coefficient correcteur \hat{e} qui correspond au rapport entre la durée avant que 99 % des cadavres soient prédatés/déplacés et la durée de l'intervalle. Il est en effet logique que plus l'intervalle est long, plus le taux de persistance s'approche de 0. L'intervalle effectif correspond ainsi à la durée pour laquelle le taux de persistance est égal à 1 % (100 – 99 %).

L'intervalle effectif moyen, \hat{I} est donc égal à : $-\log(0,01) \times tm$. Dans le calcul, I prend la valeur minimale entre I et \hat{I} , notée \hat{e} .

❖ [Modèle de Huso \(2010\)](#)

Huso *et al.*, (2010) considère également une mortalité globalement constante mais, dans son approche, la probabilité de disparition au milieu de l'intervalle de passage n'est pas égale à la probabilité moyenne de persistance d'un cadavre. La formule est donc différente. Néanmoins, les travaux de Huso sont basés sur des données américaines où les taux de persistance moyens seraient plus élevés qu'en Europe (Korner *et al.*, 2011). Les biais sont donc plus importants pour cette approche lorsque les durées de persistance sont courtes (Bernardino *et al.*, 2013).

Le taux de persistance, plus élevé, est donné comme suit :

$$p = \frac{tm \times (1 - e^{-I / tm})}{I}$$

D'où la formule :

$$N = \frac{C}{a \times d \times \frac{tm \times (1 - e^{-I / tm})}{I} \times \hat{e}}$$

Avec :

C : nombre de cadavres trouvés
a : coefficient de correction surfacique (cf. 3.1.3.1)
d : efficacité de l'observateur (cf. 3.1.3.1)
tm = durée moyenne de persistance en jours
I : Intervalle moyen entre deux visites
 \hat{I} : Intervalle effectif moyen
 \hat{e} : Le coefficient correcteur moyen de l'intervalle équivalent à $\frac{\text{Min}(I; \hat{I})}{I}$

3.1.3.3 EolApp (Besnard & Bernard, 2018)

Les différents modèles de calculs présentés ci-dessus ont été exploités avec une application web Shiny (EolApp) faisant tourner un script R sur le serveur³. L'ensemble du code est dans le langage R, très utilisé aujourd'hui du fait de son caractère gratuit. Les applications ont été programmées par Aurélien Besnard et Cyril Bernard, chercheurs du Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive (UMR5175 Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive, Montpellier). L'utilisation de cette application permet notamment d'éviter les éventuelles erreurs d'applications des formules.

Cette application permet d'obtenir **une médiane et les intervalles de confiance à 80 % et 95 % des estimations de mortalité** obtenues, conformément aux demandes du protocole national de 2018. En effet, le calcul de la mortalité à l'aide des différentes formules issues de la littérature et proposées par le Ministère, sont de fait des estimations. Ce calcul repose sur des processus d'échantillonnage multiples. Par exemple, la répartition des mortalités dans le temps est en soit un processus aléatoire. Les passages répétés dans le temps sous les éoliennes correspondent à un processus d'échantillonnage. La persistance et la détection des cadavres lors de la mise en place de cadavres reposent aussi sur des processus aléatoires. De fait, une incertitude sur les estimations doit être quantifiée et précisée en même temps que les résultats des calculs.

Les calculs reposent donc sur les données existantes relevées sur le terrain. Ils se basent sur un protocole standardisé, à savoir un nombre de visites défini sur une ou plusieurs éoliennes, séparés par des pas de temps identiques, visites pendant lesquelles les cadavres sont recherchés. Elle utilise également les données issues de l'expérimentation utilisée pour estimer la **persistance** ainsi que la **détection**.

Les trois modèles présentés dans le cadre de cette étude et calculés par l'application EolApp seront les modèles d'Erickson, Huso et Jones, ainsi que leurs intervalles de confiance à 80% (bornes inférieures à 10 % et supérieures 90 %).

Le taux de persistance étant relativement court dans le cas présent ($T_m = 2,3$ jours, cf. partie Résultats 4.1.2.1), l'estimateur développé par Erickson ne sera pas retenu pour les analyses. **L'évaluation des impacts se basera sur les estimations obtenues à partir des modèles de Jones et Huso.**

³ <https://shiny.cefe.cnrs.fr/eolapp/>

Figure 1 – Interface web de l'application « EolApp » utilisée pour l'estimation de la mortalité

3.2 SUIVI ACOUSTIQUE EN NACELLE

En parallèle des suivis de fréquentation au sol, un suivi d'activité automatisé en altitude a été mené sur la période d'activité des chauves-souris afin d'identifier les paramètres météorologiques et phénologiques favorables à une plus forte activité chiroptérologique sur le site. Le suivi acoustique continu depuis la nacelle d'une éolienne est la méthode la plus appropriée pour évaluer les risques de mortalité par collision car elle permet d'enregistrer l'activité à hauteur de pales, soit la zone à risque véritable pour les chauves-souris.



Éolienne E1 qui a été équipée avec un Batmode S+ (G. Marchais – Ecosphère)

L'éolienne 2 a été équipée d'un système de détection/enregistrement des ultrasons du 7 août au 14 octobre 2019. L'appareil utilisé est un Batmode S+ de Bioacoustics technology GmbH™. Cet appareil a enregistré les ultrasons au format WAV non compressé avec le micro de haute qualité « Ultrasound gate » d'Avisoft Bioacoustics™ et permet la connexion et le contrôle à distance de plusieurs manières (accès via internet, réseau mobile, Wifi). Les données recueillies ont ainsi permis d'apprécier le peuplement chiroptérologique présent sur le site sur plus de 7 mois consécutifs.

Ce détecteur-enregistreur automatique permet de capter dans toute la bande d'émission des chauves-souris. Dès qu'un ultrason est détecté, il est automatiquement enregistré. Les sonagrammes sont ensuite analysés par des experts à l'aide de logiciels de mesures de paramètres (AnalogW 4 ou Batsound 4), et non avec des systèmes d'identification automatique car ces derniers peuvent facilement induire en erreur malgré des avancées récentes pour certaines espèces⁴. En effet, ils ont souvent des problèmes de discrimination des signaux de chauves-souris par rapport aux bruits et des banques sons de référence incomplètes, et donc manquent de précision dans la détermination des espèces et avec des risques d'erreurs importants. En outre, AnalogW 4 permet de quantifier l'activité des chauves-souris en un point donné.

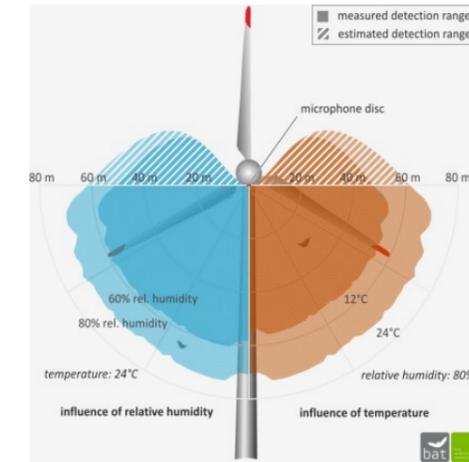
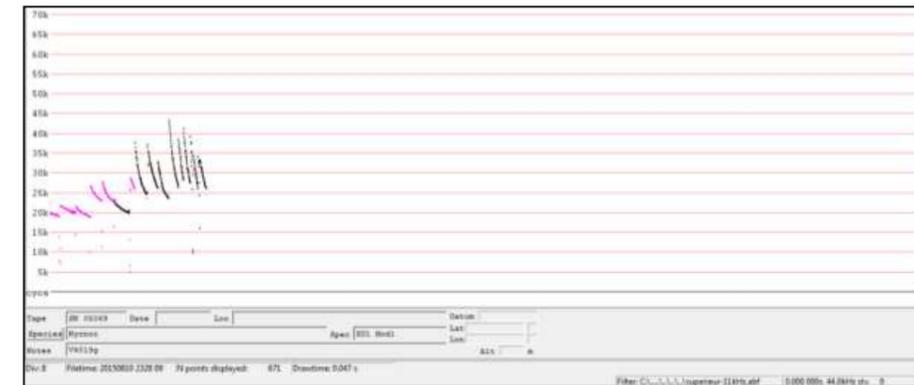


Schéma présentant les volumes de détection du micro « Ultrasoundgate » d'Avisoft Bioacoustics™ selon les conditions de température et d'humidité. Les couleurs foncées correspondent à la détection d'espèces émettant dans les 40 kHz (pipistrelles), tandis que les couleurs plus claires correspondent à la détection d'espèces émettant dans les 20 kHz (noctules, sérotines).



Séquence caractéristique sans bruit parasite de Noctule commune sous le logiciel Analog 4™

Simultanément aux enregistrements ultrasonores, les équipements intégrés de l'éolienne ont permis d'enregistrer les données météorologiques à hauteur de nacelle, telles que les vitesses de vent et la température. Celles-ci ont été utilisées dans les analyses de corrélation avec les activités afin de déterminer des paramètres de bridage visant à protéger les chauves-souris volant dans la zone de rotation des pales (100 m de diamètre).

Les résultats en nombre de contacts par nuit sont ensuite évalués en fonction du **référentiel des suivis d'activité sur nacelle d'Ecosphère (moitié nord de la France en milieux ouverts)**. Il est constitué d'une compilation de résultats recueillis sur 554 nuits et 14 éoliennes réparties sur 6 parcs différents dans la moitié nord de la France (2014-17).

⁴ www.plume-de-naturalistes.fr/wp-content/uploads/2018/11/08_JAY_10-2018_Identification-chiropteres-SonoChiro_Plume2_99-118.pdf

Il est important de rappeler que l'utilisation du détecteur d'ultrasons offre des résultats qui sont à relativiser en fonction des distances de détectabilité et des milieux dans lesquels évoluent les différentes espèces concernées. Par exemple, les probabilités de détection d'une Noctule commune, dont les émissions ultrasonores portent à plus de 100 mètres en milieu ouvert, sont bien plus élevées que celles d'un Petit Rhinolophe, dont les émissions ultrasonores sont audibles à 5 mètres maximum. De même, un Murin de Natterer pourra être détecté à environ 20 mètres en milieu ouvert, alors qu'il ne pourra l'être qu'à moins de 5 m en milieu fermé (feuillage). Enfin, il faut savoir que les chiroptères et tout particulièrement les murins font varier la nature et la structure de leurs émissions ultrasonores en fonction de la distance par rapport aux obstacles et que, dans certains cas, ils adoptent des signaux très semblables, rendant impossible toute discrimination spécifique.

Ainsi, des **associations d'espèces** ont pu être constituées lorsque l'analyse des signaux n'a pu déboucher sur une identification spécifique :

- « **Sérotule** » pour la Sérotine commune et les Noctules commune et de Leisler : ces trois espèces émettent des émissions sonores régulièrement similaires entre 20 et 30 kHz et sont, par conséquent, difficiles à discriminer. La Noctule commune a pu être identifiée uniquement lorsque la séquence de signaux enregistrés présentait au moins une émission en « quasi fréquence constante⁵ » (QFC) dont la fréquence terminale était inférieure à 20,5 kHz. Les séquences de cris émises entre 22 et 30 kHz et présentant une alternance de cris en QFC avec une fréquence du maximum d'énergie > 21 kHz et en « fréquence modulée aplanie⁶ » (FMA) avec une amorce explosive ont été attribuées à la Noctule de Leisler. Pour certains cas, le terme « **Noctule indéterminée** » a été employé à cause d'un trop grand chevauchement des mesures. Quant à la Sérotine commune, sa présence est envisagée lorsque les séquences présentent les caractéristiques suivantes : émissions entre 22 et 30 kHz, irrégularité temporelle des signaux de type FMA, amorce progressive et absence de QFC. En dehors de ces cas, la « Sérotule » a été annoncée ;

- « **Pipistrelle de Kuhl/Nathusius** » et « **Pipistrelle commune/de Nathusius** », associée aux Pipistrelles commune, de Kuhl et de Nathusius, correspondent aux individus émettant des cris en fréquence modulée compris entre 35 et 44 kHz. Seules les séquences présentant des cris sociaux (servant à discriminer les pipistrelles) et/ou des signaux de type QFC dont la fréquence terminale était comprise entre 38,5 kHz et 41 kHz (cas de la Pipistrelle de Nathusius) ont généralement permis une distinction des trois espèces. Les signaux QFC compris entre 39 et 41 kHz étaient attribués à la Pipistrelle de Nathusius s'ils étaient alternés avec des séquences de signaux en fréquence modulée aplanie qui sont caractéristiques de séquences de chasse. Autrement, une confusion était possible avec des signaux appartenant à la Pipistrelle commune. Quelques signaux de ce type ont été identifiés à partir des enregistrements obtenus sur les points d'écoute fixes. La présence de la Pipistrelle de Nathusius a donc pu être confirmée.

Les autres espèces de bas vol comme les murins, rhinolophes et oreillard n'ont pas été contactés par ces suivis en altitude.

⁵ Quasi fréquence constante (QFC) : qualifie un signal de chauve-souris dont la différence entre la fréquence du début et de la fin est inférieure à 5 kHz. Ce type de cri a généralement une durée comprise entre 8 et 25 millisecondes.

⁶ Fréquence modulée aplanie (FMA) : qualifie un signal de chauve-souris dont la différence entre la fréquence du début et de la fin est supérieure à 5 kHz et qui présente un aplanissement en fin de signal (se rapprochant ainsi de la QFC). Ce type de cri a généralement une durée comprise entre 0,1 et 8 millisecondes.

On ajoutera enfin que **l'identification des chauves-souris par l'acoustique est encore en développement**. Les méthodes de détermination sont récentes et reposent pour certains groupes (les murins en particulier) sur des probabilités. Une des méthodes les plus robustes en Europe a été définie par Michel Barataud et repose partiellement sur des éléments subtils liés à l'écoute. Une typologie des types de signaux acoustiques a été produite mais les limites atteintes par chaque espèce font encore l'objet de découvertes régulières, qui remettent parfois en question la méthodologie d'identification. Les méthodes d'identification automatique en sont quant à elles à leurs balbutiements et leur fiabilité est faible (risques d'erreurs non négligeables). Elles n'ont pas été utilisées dans le cadre de cette étude.

Malgré ces limites cette étude permet de bien comprendre les modalités d'utilisation du site par ces espèces, qualifier la diversité du peuplement chiroptérologique.

3.3 MÉTHODE D'ÉVALUATION DES ESPÈCES FRÉQUENTANT LE PARC

3.3.1 ÉVALUATION DE L'ENJEU DE CONSERVATION DES ESPÈCES

Un enjeu de conservation est attribué principalement à partir des listes rouges régionales, nationales et européennes⁷ sur la base du tableau suivant.

Statut de menace/rareté		Niveau d'enjeu régional de l'espèce
CR	Espèce animale en danger critique d'extinction au niveau régional	Très fort
EN	Espèce animale en danger d'extinction au niveau régional	Fort
VU ⁸ NT et au moins R	Espèce animale vulnérable au niveau régional Espèce animale quasi-menacée et au moins rare au niveau régional	Assez fort
NT ⁹ LC mais au moins AR (voire AC)	Espèce animale quasi-menacée au niveau régional Espèce animale non menacée mais peu commune au niveau régional	Moyen
LC	Espèce animale non menacée, souvent assez commune à très commune, parfois assez rare ou rare	Faible
DD, NE	Données insuffisantes ou espèce non évaluée	« Dire d'expert » si possible

Pour les espèces présentes en période de reproduction, la liste rouge utilisée est la liste rouge régionale (des ajustements sont par ailleurs ponctuellement réalisés sur la base du niveau de rareté régional).

Pour les espèces migratrices et hivernantes, l'enjeu est d'abord évalué sur la base de la liste rouge européenne pour les oiseaux, et de la liste rouge nationale pour les chauves-souris car la liste rouge européenne est plus ancienne.

⁷ Protocole national, 2015, p 5 : « Le protocole national en vigueur à ce jour stipule que l'enjeu de conservation s'appuie sur les Listes Rouges préparées sur la base des principes édictés par l'UICN. La liste rouge est utilisée et complétée, au besoin, par une liste rouge régionale, si celle-ci existe. ». Par extrapolation, la Liste Rouge Européenne est également prise en compte pour l'analyse. Le protocole actualisé en 2018 ne revient quant à lui pas sur ces notions.

⁸ Certaines espèces vulnérables communes ou très communes peuvent voir leur enjeu abaissé au niveau moyen.

⁹ Certaines espèces quasi menacées communes ou très communes peuvent voir leur enjeu abaissé au niveau faible.

Les espèces à enjeu ou sensibles à l'éolien sont considérées comme telles, qu'elles soient protégées ou non (sachant que toutes les espèces de chauves-souris sont protégées au niveau national).

3.3.2 ÉVALUATION DE LA SENSIBILITÉ GÉNÉRALE DES ESPÈCES À L'ÉOLIEN

Pour les oiseaux, les populations nicheuses et hivernantes en Europe sont relativement bien connues et les totaux ont été mis à jour par BirdLife International en 2015 (www.birdlife.org/datazone/species). La sensibilité est donc définie comme le rapport entre le nombre de cas de collision connus et le nombre minimal de couples nicheurs en Europe. On notera que c'est bien l'Europe au sens biogéographique qui est prise en compte dans l'estimation des tailles de populations car une partie des nicheurs de pays comme la Suisse, la Norvège ou la Russie traversent annuellement la France.

Définition de la sensibilité à l'éolien chez les oiseaux

Quatre classes de sensibilité sont définies selon l'importance du nombre de collisions connues au regard des tailles de populations des espèces concernées :

Tableau 5 : Hiérarchisation des niveaux de sensibilité générale des oiseaux au risque de collision

Classe	Sensibilité	Proportion des cas de collisions connus au regard des effectifs européens (BirdLife, 2015)	Exemples d'espèces d'oiseaux
4	Forte	Supérieure à 1 : les cas de mortalité représentent une proportion élevée et significative de leur population.	Milan royal, Pygargue à queue blanche, Vautour fauve
3	Assez forte	Comprise entre 0,1 et 1 : les cas de mortalité représentent une proportion significative de leur population, sans qu'elle ne soit très élevée. Ce sont généralement des espèces dont les tailles de populations sont peu importantes.	Milan noir, Faucon pèlerin, Balbuzard pêcheur, Circaète Jean-le-Blanc, Aigle botté, Faucon crécerelle
2	Moyenne	Comprise entre 0,01 et 0,1 : les cas de mortalité représentent une faible proportion de leur population. Ce sont : - soit des espèces communes avec de nombreux cas de collisions, - soit des espèces plus rares ou à répartition restreinte, mais dont les cas de collision restent peu nombreux. Dans ces deux cas, le maintien des populations n'est pas remis en question à l'échelle européenne.	Buse variable, Mouette rieuse, Canard colvert
			Busard des roseaux, Œdicnème criard, Grue cendrée
0 et 1	Faible à négligeable	Inférieure à 0,01 : les cas de mortalité représentent une proportion non significative de leur population. Ce sont : - soit des espèces abondantes dont les cas de collision peuvent être nombreux, mais restant anecdotiques à l'échelle des populations, - soit des espèces peu abondantes pour lesquelles les cas de collision sont occasionnels, - soit des espèces pour lesquelles aucun cas de collision n'est connu.	Martinet noir, Alouette des champs, Grive musicienne, Roitelet triple-bandeau
			Grand Cormoran, Chouette chevêche, Huppe fasciée, Torcol fourmilier
			Grande Aigrette, Grimpereau des jardins, Mésange huppée

Pour les chiroptères, les niveaux de population sont méconnus et seule l'abondance relative des espèces peut être localement ou régionalement estimée, sur la base des dénombrements en colonie et hivernage, ainsi que par l'activité acoustique. La sensibilité d'une espèce est donc simplement définie comme la proportion du nombre de cas de collision connus en Europe rapporté aux collisions de toutes les espèces.

Les sources de données sont celles d'Eurobats et celles de l'allemand Tobias Dürr du « Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg » qui compile et publie régulièrement tous les rapports de mortalité par collision éolienne lui parvenant à l'échelle européenne (total cumulé depuis le début des suivis de mortalité en 2003). La dernière mise à jour est de de juin 2018 pour Eurobats et janvier 2020 pour T. Dürr. C'est ainsi la valeur maximale par pays qui est prise en compte (pour éviter les comptes-doubles). On a ainsi un total maximal de 10 619 cadavres de chiroptères recensés dans toute l'Europe. Ceci permet ensuite d'obtenir comme donnée de référence le pourcentage entre « nombre de cadavres pour une espèce donnée » par rapport au « nombre total de cadavres en Europe toutes espèces confondues ». Cette information a été complétée par une analyse bibliographique reposant en particulier sur les avis de la SFPEM (SFPEM, 2016) et d'Eurobats.

Le principe est le suivant : plus la proportion est élevée, plus les espèces concernées sont dites sensibles au risque de collision avec les éoliennes. Néanmoins, ces taux de mortalité ont plus ou moins d'impact sur les espèces si l'on tient compte des niveaux de populations dans chaque pays européen. Les sensibilités de chaque espèce ainsi obtenue sont présentées dans l'encadré suivant.

Définition de la sensibilité brute au risque de collision à l'éolien chez les chiroptères

Les classes de sensibilité sont indiquées dans le *Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens (2015)*. Compte tenu du faible nombre d'espèces (par rapport aux oiseaux), on peut présenter les résultats pour les espèces présentes en France, classées par niveau de sensibilité.

Tableau 6 : Évaluation de la sensibilité brute des chauves-souris aux risques de collision (Dürr, 7 janvier 2020 & Eurobats, 3 juin 2018)

Espèce	Données de mortalité constatée (nb cadavres Europe/France 2020)	Pourcentage (total Europe 10 619 cadavres)	Sensibilité
Pipistrelle commune	2 388 / 995	22,5 %	Forte
Pipistrelle de Nathusius	1 594 / 272	15,0 %	Forte
Pipistrelle pygmée	450 / 176	4,2 %	Forte
(P. commune / pygmée)	414 / 40	3,9 %	Forte
Pipistrelle de Kuhl	469 / 219	4,4 %	Forte
(Pipistrelle sp.)	734 / 303	6,9 %	Forte
Vespère de Savi	370 / 57	3,5 %	Forte
Grande noctule	41 / 10	0,4 %	Forte
Noctule commune	1 543 / 104	14,5 %	Forte
Noctule de Leisler	714 / 153	6,7 %	Forte
Sérotine commune	120 / 33	1,1 %	Moyenne
Sérotine bicolore	214 / 11	2 %	Moyenne
Molosse de Cestoni	71 / 2	0,7 %	Moyenne
Minioptère de Schreibers	13 / 7	0,12 %	Moyenne
Grand Murin	7 / 3	< 0,1 %	Faible à négligeable
Murin de Daubenton	10 / 1	< 0,1 %	
Murin de Bechstein	1 / 1	< 0,1 %	
Murin de Brandt	2 / 0	< 0,1 %	
Murin à oreilles échanquées	5 / 3	< 0,1 %	
Murin à moustaches	5 / 1	< 0,1 %	
Murin de Natterer	2 / 0	< 0,1 %	
Barbastelle d'Europe	6 / 4	< 0,1 %	
Oreillard gris	9 / 0	< 0,1 %	Faible à négligeable
Oreillard roux	8 / 0	< 0,1 %	
Grand Rhinolophe	2 / 0	< 0,1 %	

* Cas particuliers : La Grande noctule, absente d'Allemagne, pourrait être sous-représentée. Le Murin des marais également car c'est une espèce très localisée autour des pays du Bénélux.

3.3.3 CAS PARTICULIER DE L'ÉVALUATION DE LA PORTÉE DE L'ACTIVITÉ DU PARC SUR LES CHAUVES-SOURIS

La portée de l'impact correspond à l'ampleur de l'impact sur une composante des populations de chauves-souris locales ou européennes (impact cumulé) dans le temps et dans l'espace. Elle est d'autant plus forte que l'impact du projet s'inscrit dans la durée et concerne une proportion importante de la population locale de l'espèce concernée, ou du flux migratoire en altitude. D'une façon générale, elle dépend notamment de la durée, de la fréquence, de la réversibilité ou de l'irréversibilité de l'impact, de la période de survenue de cet impact, ainsi que du nombre d'individus ou de la surface impactée, en tenant compte des éventuels cumuls d'impacts.

Concernant l'éolien, les effets sont principalement par le choix des emplacements d'implantation par rapports aux habitats favorables (haies, lisières, boisements, milieux aquatiques) et aux axes/routes de vol/migration (perpendiculaire ou parallèle), les caractéristiques du modèle d'éolienne (hauteur de la nacelle, diamètre du rotor...), et les conditions de fonctionnement (période, plage horaire, paramètres météorologiques, bruits).

Trois niveaux de portée sont définis :

- ✓ Fort : lorsque l'activité de l'espèce concernée est au moins forte ou supérieure au quantile 75 % sur le point d'étude, ou lorsque la fonctionnalité écologique des populations locales ou de leurs habitats est impactée de façon importante.
- ✓ Moyen : lorsque l'activité de l'espèce concernée est moyenne ou comprise entre les quantiles 25 et 75 % sur le point d'étude, ou lorsque la fonctionnalité écologique des populations locales ou de leurs habitats est impactée de façon modérée ou plus ou moins limitée.
- ✓ Faible : lorsque le nombre de contacts de l'espèce est faible ou non significatif ou inférieure au quantile 25 %, ou lorsque la fonctionnalité écologique des populations locales ou de leurs habitats est impactée de façon marginale (pas de destruction, perturbation localisée ou temporaire des gîtes et des routes de vol discontinues ou occasionnellement empruntées).

3.3.4 ÉVALUATION DES IMPACTS

L'évaluation des impacts s'opère en deux étapes :

- 1) en croisant sensibilité et portée, on obtient d'abord l'intensité ;
- 2) en croisant l'enjeu des espèces avec cette intensité.

Tableau 7 : Définition des niveaux d'intensité de l'effet négatif

Niveau de portée de l'effet	Niveau de sensibilité		
	Fort à Assez forte	Moyen	Faible
Fort	Fort	Assez Fort	Moyen
Moyen	Assez Fort	Moyen	Faible
Faible	Moyen à Faible	Faible	Faible

Finalement, 6 niveaux d'impact ont été définis comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Définition des niveaux d'impacts

Intensité de l'effet	Niveau d'enjeu impacté				
	Très Fort	Fort	Assez Fort	Moyen	Faible
Forte	Très Fort	Fort	Assez Fort	Moyen	Moyen ou Faible
Assez forte	Fort	Assez Fort	Moyen	Moyen ou Faible	Faible
Moyenne	Assez Fort	Moyen	Moyen ou Faible	Faible	Négligeable
Faible	Moyen	Moyen ou Faible	Faible	Négligeable	Négligeable

Ces impacts doivent néanmoins être comparés aux caractéristiques techniques des éoliennes, et en particulier la garde au sol et le volume brassé par les pales. En 2013, Ecosphère a élaboré une base de données sur les modèles existants à l'époque (échantillon de 55 modèles d'éoliennes produites par cinq constructeurs parmi les plus importants en 2013 à savoir : Enercon, Vestas, Repower, Nordex et Gamesa). Le seuil de vitesse de vent pour le démarrage de la production électrique (cut-in-speed) n'a pas été un critère technique retenu pour notre analyse par manque de données. Il s'agit pourtant d'un autre paramètre souvent déterminant.

Ainsi, après avoir affecté un niveau d'impact, celui-ci peut être augmenté d'un cran si la garde au sol est inférieure à 25 m ou si le diamètre du rotor dépasse les 120 m (aire de rotation des pales très grande).

3.4 MÉTHODE DE DÉFINITION DES IMPACTS ET DES MESURES DE RÉDUCTION ADAPTÉES AU PARC

La vulnérabilité des espèces présentes, les activités enregistrées à hauteur de nacelle et le nombre de cadavres recensés sur le parc permettent, *in fine*, d'aboutir à une évaluation contextualisée des risques d'impacts et la définition de mesures de réduction (arrêt programmé des éoliennes en périodes sensibles, modification de l'assolement...). L'arrêt programmé des machines (ou bridage) des éoliennes est la principale mesure de réduction de l'impact de collision des chauves-souris et des oiseaux.

Des algorithmes de bridage sont calculés et déterminés en fonction des niveaux d'impact constaté (nombre de cadavres et vulnérabilité des espèces concernées) et à la fréquentation du parc (nombre de contacts enregistrés en altitude et vulnérabilité des espèces contactées). Il est défini principalement en fonction des périodes d'activité des espèces vulnérables (mois de l'année, heures de la nuit, vitesse du vent, température...).

4. RÉSULTATS

4.1 SUIVI DE MORTALITÉ

4.1.1 RÉSULTATS BRUTS

L'intégralité des données recueillies dans le cadre de ce suivi est détaillée en annexe 3.

Sur les 4 éoliennes du parc des Champs d'Amour et dans un rayon de 55 m autour des mâts, un total de **16 cadavres** a été découvert, dont **5 oiseaux** et **11 chauves-souris**. Deux cadavres supplémentaires ont été trouvés sous l'éolienne E2, à la fin août et à la mi-septembre. Il s'agissait de restes de quelques plumes de type turdids (non identifiables), ainsi qu'un reste aile d'une Buse variable. Dans les deux cas, ces quelques restes issus de cadavres de taille moyenne ou grande, ont été découverts relativement abimés et sans autres indices de collision. Aussi, un cadavre de Buse variable a une persistance généralement longue après collision (*obs. pers.*). Ici, aucun corps entier n'a été découvert, les seules traces trouvées laissent donc penser à des individus prédatés aux abords, puis déplacés proche du rayon de prospection par les charognards. La collision avec les pales des éoliennes a été de fait exclue pour ces deux cas ; par conséquent, ils n'ont pas été pris en compte dans les analyses et calculs d'estimation de la mortalité

4.1.1.1 Répartition spatiale

Voir la carte « Localisation des cadavres »

Les cadavres découverts ne sont pas distribués de manière homogène entre les éoliennes. Aucun cadavre n'a été découvert au pied de l'éolienne E4 lors des prospections. Il faut noter qu'une très faible proportion de la surface théorique de prospection a pu être réellement suivie pour cette éolienne. En effet, une culture de maïs étant présente ; seuls la plateforme et le chemin d'accès ont été prospectés sous E4 durant toute la durée du suivi, représentant seulement 17 % de la surface totale.

Pour le reste, des cadavres ont été découverts sous les 3 éoliennes, **les éoliennes E1 et E3 étant celles ayant la plus grande mortalité constatée** (avec 6 et 7 cadavres respectivement).

Tableau 9 : Répartition des cadavres découverts en 2019 (n = 16) sur le parc éolien des Champs d'Amour

Éolienne n°	Surface prospectée (moyenne sur les 16 passages)	Nombre de cadavres découverts	Chiroptères	Oiseaux
1	97%	6	4	2
2	100%	3	3	0
3	100%	7	4	3
4	17%	0	0	0
TOTAL		16	11	5

Par rapport à la distance au mât, il y a globalement eu des cadavres découverts sur toute la surface du rayon de prospection (= 55 m), voire même au-delà (cf. Figure 2). Entre 2 et 3 cadavres (oiseaux et chiroptères confondus) ont été découverts pour chaque tranche de 10 m de 0 à 40 m du mat. **La plus forte mortalité a été découverte entre 40 et 50 m du mât avec 5 cadavres au total**, dont 2 chiroptères et 3 oiseaux. **Au total, 63 % des cadavres sont tombés entre 20 et 50 m du mât**. Un cadavre supplémentaire a été trouvé au-delà: une Pipistrelle commune, trouvée à 64 m du mât dans un labour. Compte-tenu du contexte environnemental local, une collision avec les pales reste la seule cause plausible pour ce cas de mortalité, il a donc été conservé dans les analyses du rapport. Ce résultat montre par ailleurs l'importance d'augmenter le rayon de prospection en accord avec la longueur des pales.

On peut noter également que les 5 oiseaux ont été découverts entre 20 et 50 m, tandis que les 11 chiroptères étaient dispersés de moins de 10 m à plus de 60 m du mât.

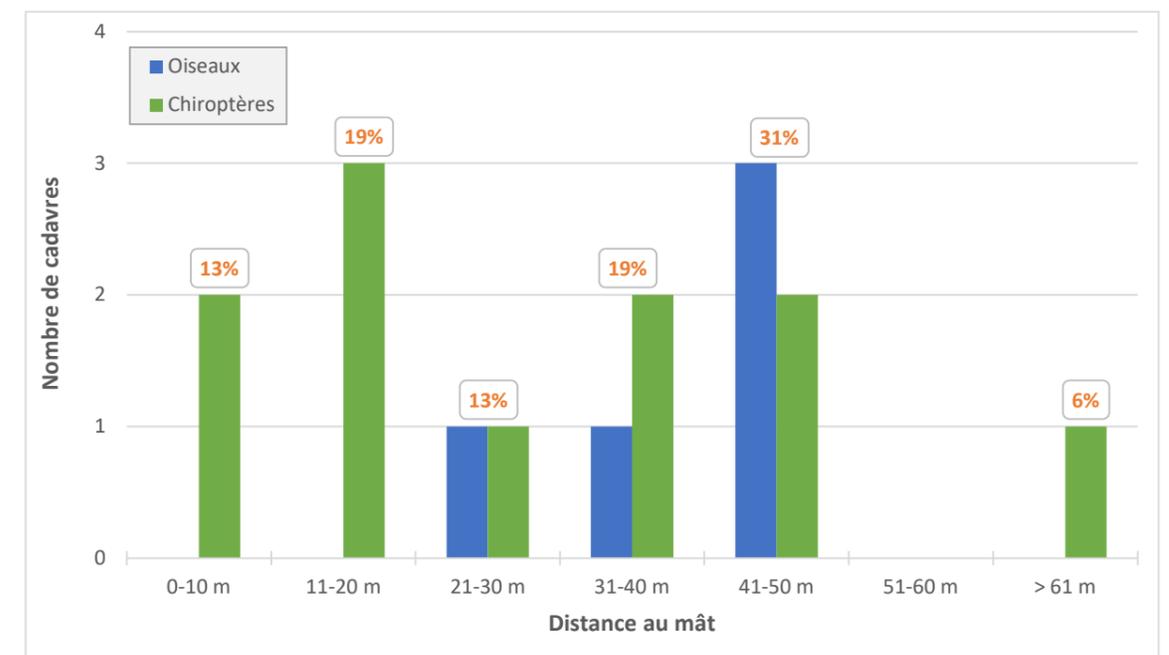


Figure 2 : Nombre de cadavres découverts et pourcentage correspondant par rapport à la mortalité totale en fonction de la distance au mât (n total = 16)

4.1.1.2 Répartition temporelle et espèces concernées

La mortalité a été plus ou moins continue en première partie de suivi, de la mi-août à la mi-septembre, comme le montre le tableau suivant. Après le 24/09/2019, aucun cadavre n'a été découvert. Les espèces concernées sont pour un peu plus des deux tiers des chauves-souris.

Tableau 10 : Répartition temporelle de la mortalité (n= 16) sur le parc des Champs d'Amour

Date	Chiroptères	Oiseaux	Total	Surface prospectée (moyenne des 4 éoliennes)
20/08/2019	1 Grand murin	0	1	79%
23/08/2019	0	0	0	
27/08/2019	1 Pipistrelle commune	0	1	
30/08/2019	1 Pipistrelle commune	0	1	
03/09/2019	2 Pipistrelle commune Noctule de Leisler	1 Hirondelle de fenêtre	3	
06/09/2019	0	0	0	
10/09/2019	0	1 Pouillot fitis	1	
13/09/2019	2 Pipistrelle commune Pipistrelle de Nathusius	0	2	
17/09/2019	3 Pipistrelle commune (x3)	1 Roitelet à triple bandeau	4	
20/09/2019	1 Pipistrelle de Kuhl	2 Roitelet à triple bandeau (x2)	3	
24/09/2019	0	0	0	
27/09/2019	0	0	0	
01/10/2019	0	0	0	
04/10/2019	0	0	0	
08/10/2019	0	0	0	
11/10/2019	0	0	0	

L'ensemble des cadavres a été trouvé entre le 20 août et le 20 septembre 2019, correspondant aux migrations postnuptiales et déplacements automnaux. On observe également un pic à la mi-septembre (sem. 37/38), avec 9 individus (6 chauves-souris et 3 oiseaux), retrouvés morts entre le 13 et le 20 septembre.

On notera que la surface de prospection a été constante au cours du suivi, mais concentrée sur les éoliennes E1 à E3, une culture de maïs empêchant la bonne prospection de E4.

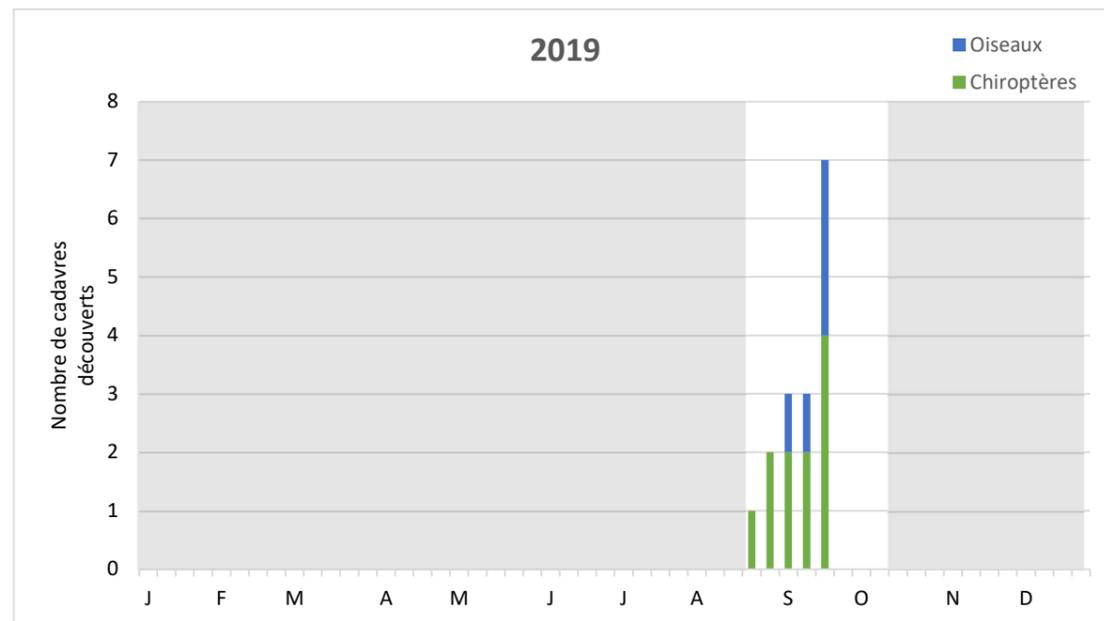
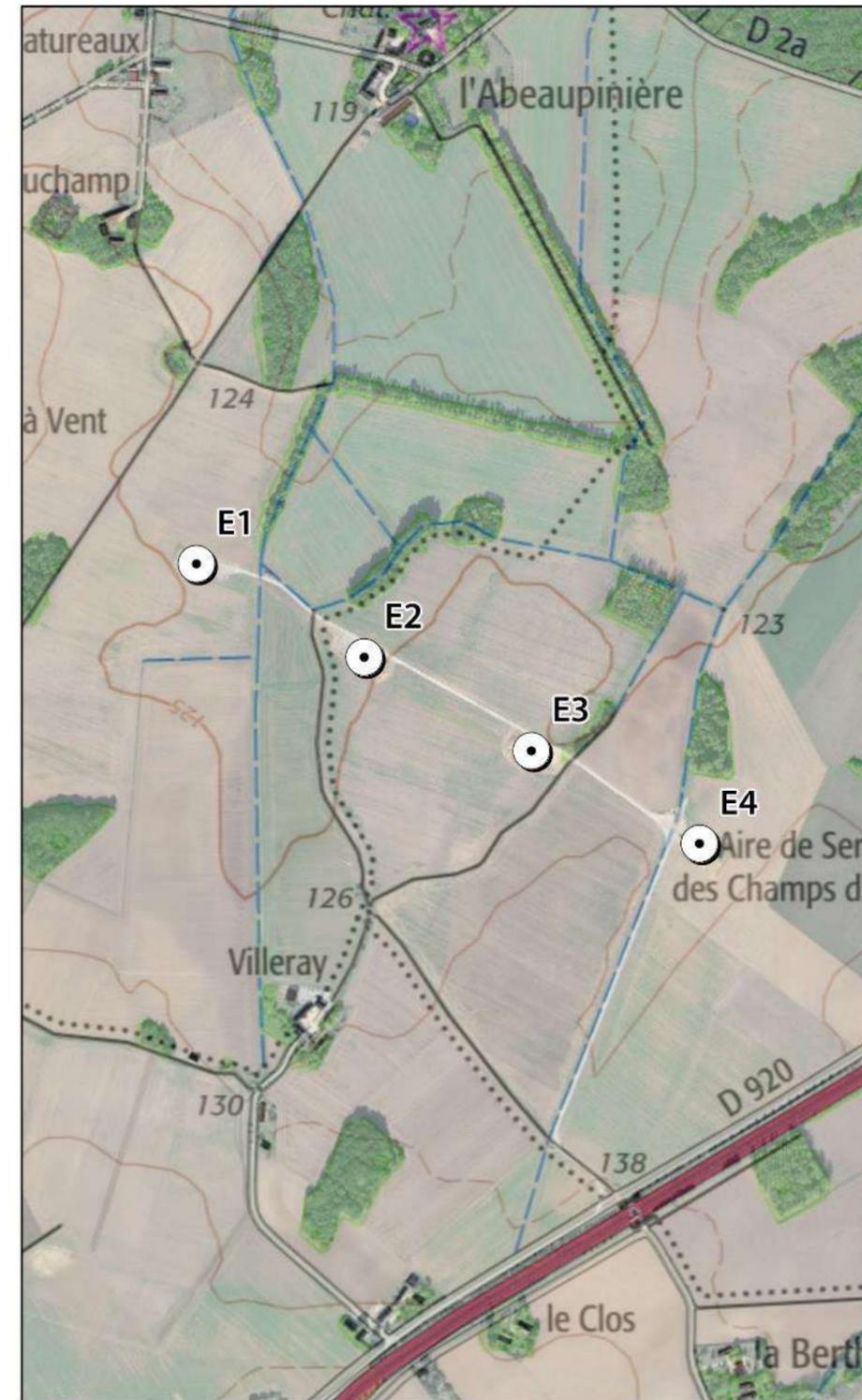
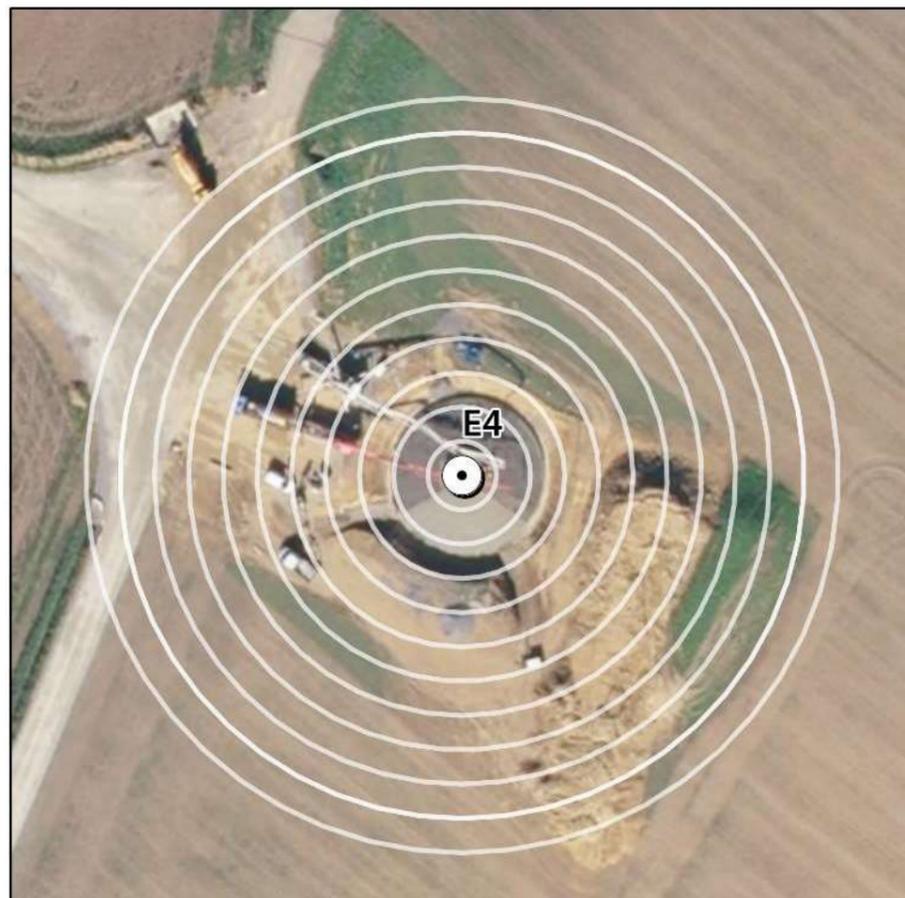
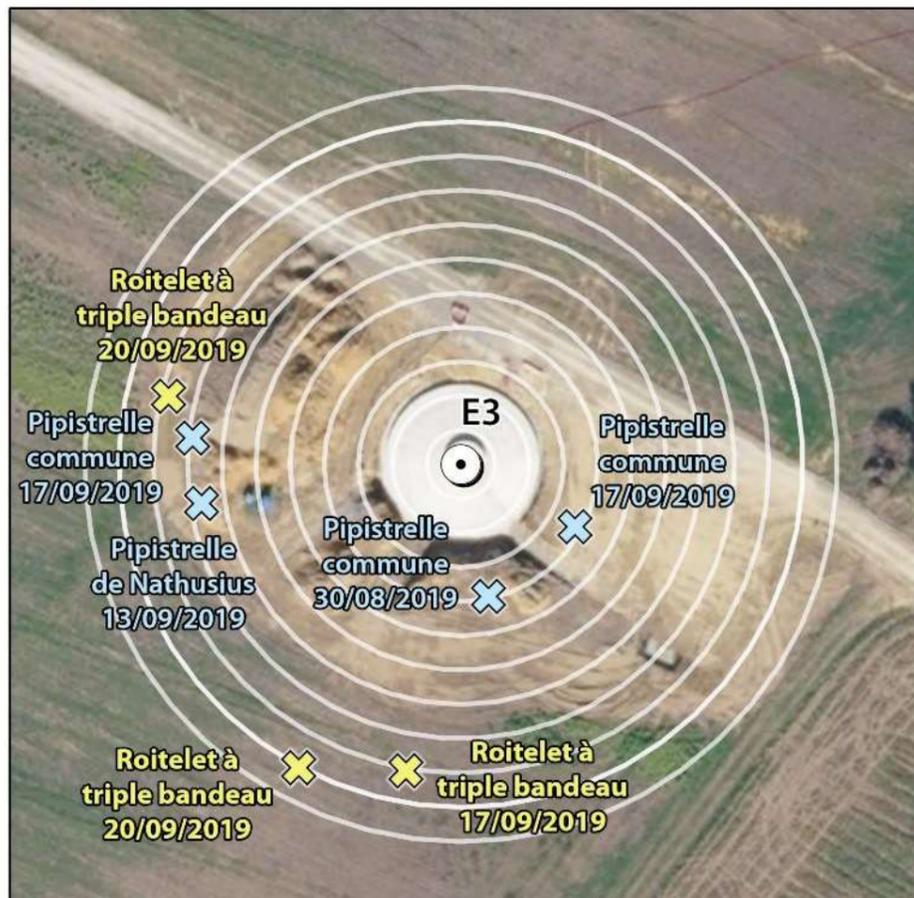
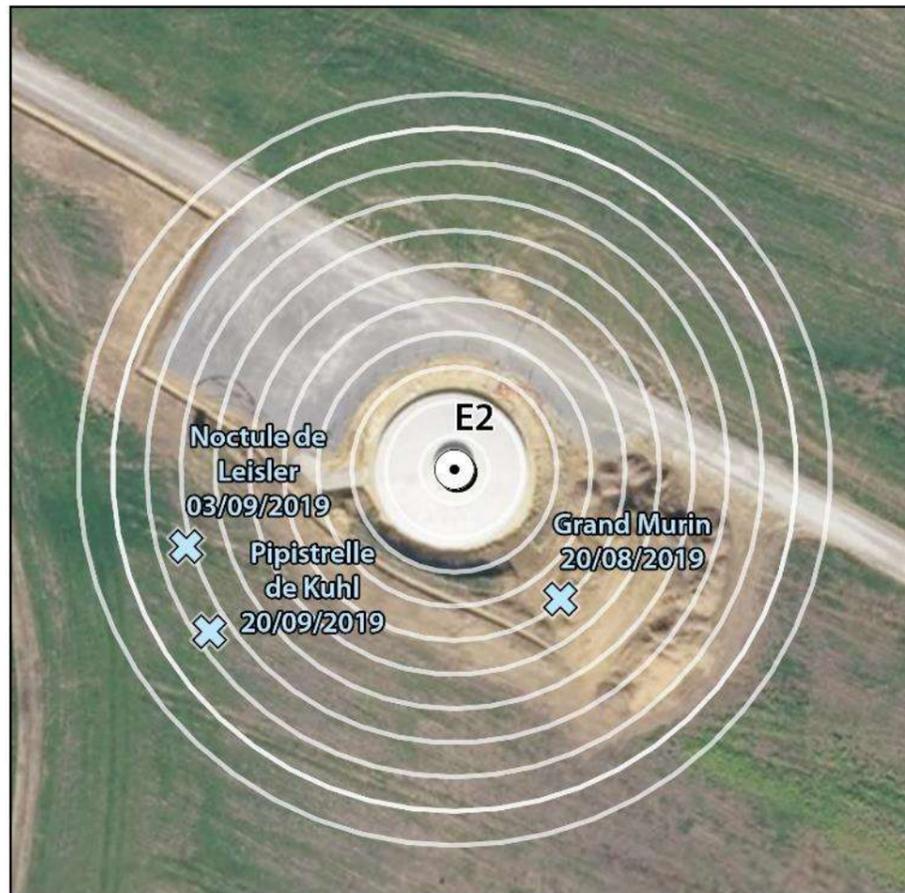
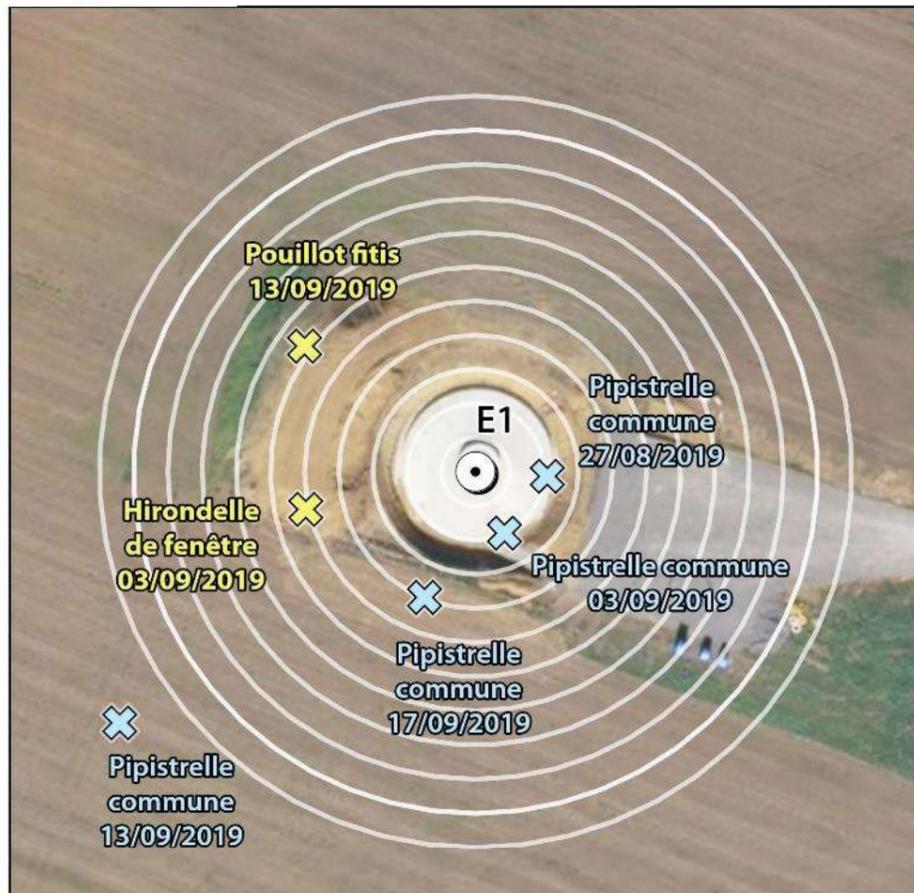


Figure 3 : Répartition temporelle annuelle de la mortalité (n= 16) sur le parc des Champs d'Amour en 2019 (les zones grisées correspondent aux mois non couverts par le suivi)



	Eolienne
Cadavre	
	Chiroptère
	Oiseau

0 25 50
Mètres

Ecosphère, NEOEN, mai 2020
Source : BD ORTHO - IGN ©

4.1.2 VARIABLES SERVANT À L'ESTIMATION DE LA MORTALITÉ RÉELLE

4.1.2.1 Persistance des cadavres (variable p)

Santos *et al.* (2011) démontrent que les temps de persistance sont très faibles en Europe notamment pour les chiroptères et les petits oiseaux, avec une probabilité de disparition très élevée dans les 2 premiers jours par rapport à d'autres groupes d'animaux. En Allemagne, Niermann *et al.* (2011) ont annoncé que le taux de persistance variait de **1,3 à 24,5 jours pour une valeur moyenne de 4,2 jours**.

Les résultats du test de persistance sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Taux de persistance des leurres (souris décongelées) déposés au pied des éoliennes.

27/08/2019	p J+1	Tm j+3	p j+3	Tm j+7	p j+7	Tm j+10	p j+10	Tm j+14	p j+14
E1 (5 leurres)	0,80	1,40	0,20	1,40	0,00	1,40	0,00	1,40	0,00
E2 (5 leurres)	0,80	3,20	0,80	3,20	0,00	3,20	0,00	3,20	0,00
E3 (5 leurres)	0,80	3,20	0,80	6,00	0,40	10,00	0,40	16,00	0,40
E4 (5 leurres)	0,80	1,40	0,20	1,40	0,00	1,40	0,00	1,40	0,00
TOTAL (20 leurres)	0,80	2,30	0,50	3,00	0,10	4,00	0,10	5,50	0,10

Tm j+3 = durée moyenne de persistance (en jours) durant l'intervalle

p j+3 = taux de persistance durant l'intervalle (proportion de cadavres présents après 3 jours)

Il a été décidé de considérer des valeurs de Tm et de p communes aux 4 éoliennes et pour l'ensemble de la période de suivi car le contexte environnemental des éoliennes reste homogène et ne présente pas de différence significative (type d'habitat, carnivores présents, etc.). En Europe, il a été démontré que les taux de persistance sont globalement constants dans le temps (Korner-Nievergelt *et al.* 2011).

Dans le cadre de ce suivi, les valeurs moyennes de persistance des cadavres « non naturels » à j+3 sont :

- Temps moyen de persistance (Tm) = 2,3 j
- Taux de persistance (p) = 50 %

4.1.2.2 Déteçtabilité (ou efficacité de l'observateur) (variable d)

L'efficacité des observateurs a été testée au sein des parcelles prospectables. L'efficacité n'a donc pas été testée au sein des parcelles non échantillonnées appartenant à la classe de visibilité nulle/mauvaise.

Dans des conditions normales de recherche, 36 leurres ont été retrouvés par l'observateur sur les 46 disposés au sein des différents types de végétation.

Résultats des tests de déteçtabilité par classe de végétation

Total	Visibilité bonne	Visibilité moyenne	TOTAL
Nombre de leurres déposés	40	6	46
Nombre de leurres retrouvés	30	6	36
Probabilité de déteçtion (d) :	0,75	1	0,78

Il en ressort un taux d'efficacité (ou de déteçtion) de 0,75 pour une visibilité dite « bonne », et de 1 pour une visibilité dite « moyenne ». Lorsque la visibilité est nulle (parcelle impraticable par exemple, le taux appliqué est de 0).

Le taux moyen de déteçtion (efficacité observateur) pour les deux classes de visibilité prospectées est donc de 78 %.

4.1.2.3 Ajustement de la surface réellement contrôlée (variable A)

Les surfaces de prospection étant variables selon la période de l'année, les coefficients ont été calculés sur ces différentes périodes (dénommées « intervalles ») et sont présentés en annexe 2. Le tableau ci-dessous synthétise ces résultats par éolienne pour l'ensemble de la période suivie.

Surface moyenne prospectée par éolienne sur l'ensemble du suivi

Éolienne	Surface moyenne prospectée (%)
E1	97 %
E2	100 %
E3	100 %
E4	17 %
Moyenne sur l'ensemble du parc :	78 %

Notons que pour les éoliennes E1 à E3 la surface était prospectable à plus de 50 % en moyenne (moyenne globale de 100 % pour ces trois éoliennes), ce qui autorise des estimations statistiques suffisamment robustes (Behr *et al.*, 2011). L'éolienne E4 n'a en revanche que très peu été prospectée (17 %), en raison d'une culture de maïs couvrant la majeure partie de la surface de prospection théorique. Les estimations statistiques ont donc été détaillées par éoliennes afin de distinguer ce cas particulier.

Ainsi, la proportion de surface prospectée moyenne, telle que demandée par l'application EolApp pour l'utilisation des formules d'Erickson, Huso et Jones, est de 78 %.

4.1.2.4 Correctif lié à la période d'étude

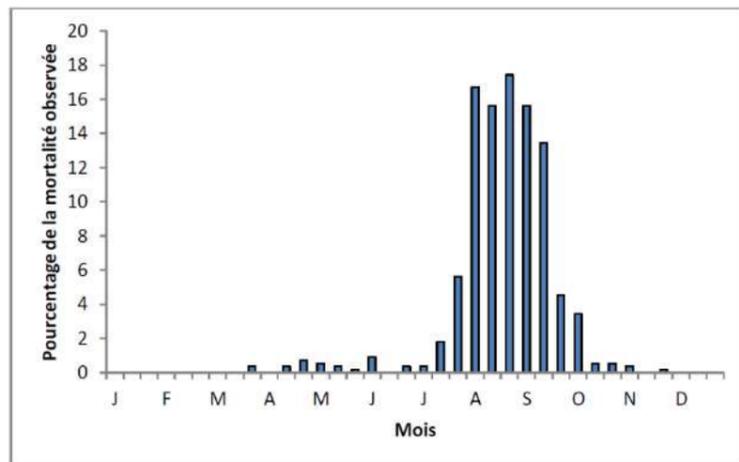
Les estimations de la mortalité ont été réalisées sur la base des 16 passages compris entre le 20/08 et le 11/10/2019 pour l'ensemble des éoliennes. Cette période correspond une période de forte activité pour les chauves-souris, liée aux déplacements et migrations automnales, et, pour les oiseaux, couvre une partie de la migration postnuptiale. Toutefois, des cas de mortalité se produisent également en dehors de cette période, notamment pour les chauves-souris actives au printemps/été ou pour les oiseaux, actifs toute l'année.

L'analyse des différentes sources bibliographiques révèle que le risque moyen de collision n'est pas égal au cours d'une année. Le tableau et le graphique ci-dessous montrent ainsi l'importance de la période située entre juillet et octobre.

Répartition annuelle de la mortalité chiroptérologique selon différentes sources bibliographiques

Référence	Proportion de cadavres découverts
Lepercq (2018)	86 % entre fin juillet et début octobre
Beucher & al., 2013	73 % entre le 15 juillet et le 31 octobre
Cornut & Vincent, 2010	80 à 83 % entre le 15 juillet et le 31 octobre
Biotope, 2011	83 % entre le 1er août et le 31 octobre
Dulac, 2008	91 % entre le 1er juillet et le 31 octobre
Rydell & al., 2010	90 % entre fin juillet et début octobre

Le graphique suivant, un peu ancien, présente la répartition temporelle des cadavres récoltés pour 551 chauves-souris en Allemagne (Dürr 2007 cité par Jones & al., 2009). Ces données ont été reprises dans le graphique par Ecosphère (Heitz & Jung, 2017) pour disposer de pourcentages par décades.

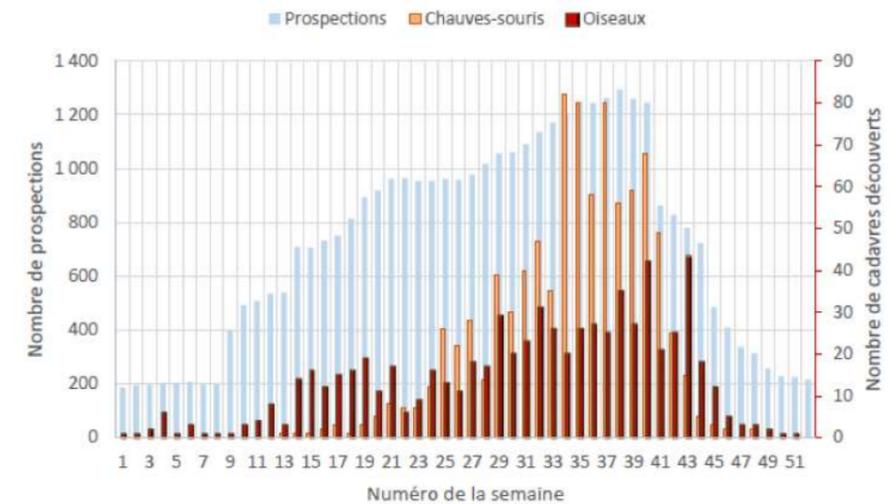


Répartition temporelle des cadavres de chauves-souris récoltés (données Dürr, 2007, in Jones & al., 2009 ; graphique Heitz & Jung, 2017)

Les travaux de synthèse sur les oiseaux menés en France sous l'égide de la LPO (Marx, 2017) peuvent être convertis en pourcentages approximatifs sur la base du graphique ci-dessous.

Semaine de découverte des cadavres

Données : 710 cadavres d'oiseaux et 916 cadavres de chauves-souris retrouvés sous les éoliennes françaises et pour lesquelles la date de découverte est connue



Répartition de la mortalité sur 645 éoliennes appartenant à 91 parcs (Marx, 2017)

Ces multiples autres études de compilation permettent d'avoir des données tant sur les oiseaux que sur les chiroptères et nous permettent d'arriver à la synthèse suivante ci-dessous.

Répartition temporelle de la mortalité selon la bibliographie (1^{ère} colonne) et des cadavres découverts sur le parc des Champs d'Amour en 2019 (2^{nde} colonne)

Pourcentage de mortalité (toutes espèces)	Chiroptères		Oiseaux	
mi-Août à mi-October (semaines 34 à 41) => migration postnuptiale, mouvements locaux	70 %	11 cadavres découverts	40 %	5 cadavres découverts
Reste de l'année	30 %	NA	60 %	NA

Ainsi, sur la base des données bibliographiques et les résultats recueillis en 2019, les suivis réalisés sur le parc des Champs d'Amour couvrent une période correspondant théoriquement à :

70 % de la mortalité des chiroptères :

⇒ **correction de + 30 % lié à la période non suivie ;**

40 % de la mortalité des oiseaux :

⇒ **correction de + 60 % lié à la période non suivie.**

Ces **coefficients correcteurs** ont donc été appliqués afin d'exprimer les estimations par année, correspondant ainsi à un cycle normal de la plupart des espèces susceptibles d'être impactées.

4.1.3 ESTIMATION DE LA MORTALITÉ RÉELLE

Les estimations de la mortalité du parc ont été calculées avec les formules de **Jones, Huso et Erickson** par le biais de l'application **EolApp (Besnard & Bernard)**. L'utilisation conjointe de ces trois formules permet de comparer les résultats obtenus. En effet, bien que les modèles utilisés soient identiques, quelques différences existent. Le modèle d'Erickson étant connu pour sous-estimer la mortalité par rapport aux modèles plus récents d'Huso et Jones (cf. partie Méthodes de travail 3.1.3.2), ce dernier est seulement présenté à titre informatif.

En outre, l'application EolApp permet d'obtenir un résultat encadré par un **intervalle de confiance de 80 % (bornes à 10 % et 90 %)**.

Les différents paramètres pris en compte sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Récapitulatif des différents paramètres généraux pris en compte pour les estimations

Paramètres	Parc éolien « Champs d'Amour »
Période du suivi	mi-Août /mi-October 2019
Nbre d'éoliennes suivies	4
C (nombre de cadavres brut découverts sous les éoliennes dans un rayon de 55 m)	16
I (intervalle moyen entre 2 visites)	3,5 jours
n (nombre de passage)	16
Sk (surface prospectée moyenne)	78 %
d (taux de détection moyen)	0,78
p brut (taux de persistance durant l'intervalle)	0,5
Tm (durée moyenne de persistance durant l'intervalle)	2,3 jours

4.1.3.1 Estimations de la mortalité globale sur l'ensemble du parc

Le tableau suivant présente les résultats des estimations de la mortalité réelle pour l'ensemble du parc (4 éoliennes) sur la période suivie (20 août - 11 octobre 2019).

Résultats des estimations de la mortalité réelle sur la période du suivi (mi-août – mi-octobre), pour les 3 modèles et obtenues avec l'application EolApp

EolApp (test non-paramétrique)	Erikson		Huso			Jones			Moyenne Huso / Jones			Mortalité / éolienne sur la période suivie		
	Médiane	[IC 10 - 90%]	Médiane	[IC 10 - 90%]	Médiane	[IC 10 - 90%]	Moyenne	[IC 10 - 90%]	Moyenne	[IC 10 - 90%]	Moyenne	[IC 10 - 90%]		
Chiroptères	22	11,5 39,5	31,5	18 50	34	19 56	32,8	18 56	8,2	4,5 14,0				
Oiseaux	9,5	4 19,5	14	6 25,5	15	6,5 28	14,5	6 28	3,6	1,5 7,0				
Global	31,5	17 57,5	45,5	27 72	49	28,5 81	47,3	27,0 81,0	11,8	6,8 20,3				

La moyenne des estimations d'Huso et Jones donne une mortalité d'environ **47,3 individus (intervalle de confiance à 80 % compris entre 27 et 81) impactés sur l'ensemble du parc pour la période de suivi (mi-août – mi-octobre, sur 16 passages)**.

Comme expliqué au paragraphe précédemment, une correction est appliquée afin d'obtenir une estimation de la mortalité réelle engendrée sur la totalité de l'année (+ 30 % pour les chiroptères, + 60 % pour les oiseaux, cf. 4.1.2.4). Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Résultats des estimations de la mortalité réelle avec correction annuelle liée à la période non suivie

		Mortalité estimée (moyenne Huso/Jones)	Couverture temporelle de la mortalité	Correction annuelle	Mortalité corrigée sur l'année	Mortalité par éolienne et par an	Mortalité totale
2019 mi-Août / mi-Oct	Chiroptères	32,8	70 %	+ 30 %	42,6	10,6	Environ 66 cadavres pour les 4 éoliennes du parc, soit 16,4 cadavres par éolienne
	Oiseaux	14,5	40 %	+ 60 %	23,2	5,8	
	Somme	47,3			65,8	16,4	

4.1.3.2 Estimations de la mortalité par éolienne

Les résultats bruts de la mortalité constatée sur le parc des Champs d'Amour montrent une mortalité différentielle en fonction de l'éolienne considérée. Tous les cadavres ont été découverts au pied des éoliennes E1, E2 et E3. Aucun cadavre n'a été découvert au pied de l'éolienne E4, la faible superficie prospectable pour cette éolienne limitant les possibilités de détection. Une analyse détaillée par éolienne a de ce fait été réalisée, afin d'obtenir une estimation de la mortalité par éolienne. Pour ces calculs, les pourcentages moyens de surface prospectée pour chaque éolienne ont été utilisés (cf. partie 4.1.2.3).

Le tableau ci-dessous présente une **synthèse des résultats de la mortalité estimée par éolienne**. Le tableau complet dont il est issu est présent en Annexe 4.

L'éolienne E4 n'est pas représentée ici : le nombre de cadavres brut étant nul, les estimations en découlant le sont aussi de fait. Aussi, la surface moyenne prospectable pour cette machine étant faible (17%), les estimations n'auraient pas été fiables.

Synthèse des résultats des estimations de la mortalité réelle par éolienne sur la période suivie (mi-août – mi-octobre) obtenues avec l'application EolApp, et par an après application de coefficients correcteurs

	E1			E2			E3			Mortalité moyenne/éolienne/an *	
	Médiane	[IC 10 - 90%]		Médiane	[IC 10 - 90%]		Médiane	[IC 10 - 90%]			
Chiroptères	Nb de cadavres bruts	4		3		4					
	Moyenne Huso / Jones	9,5	4,0	17,5	6,8	2,0	13,5	9,0	2,5	18,5	8,4
	Mortalité moyenne /an (+30%)	12,4	5,2	22,8	8,8	2,6	17,6	11,7	3,3	24,1	10,9
Oiseaux	Nb de cadavres bruts	2		0		3					
	Moyenne Huso / Jones	4,5	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	6,3	0,0	15,5	3,6
	Mortalité moyenne /an (+60%)	7,2	0,0	16,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	24,8	5,7
	SOMME	19,6			8,8			21,7			16,7

* La mortalité moyenne par éolienne et par an a été calculée sur la base de ces trois éoliennes ayant engendrée de la mortalité. Considérer l'éolienne E4 dans cette moyenne sous-estime les estimations finales compte tenu de sa sous-prospection.

Les estimations de la mortalité réelle par éolienne précisent la répartition des cadavres et montrent le **plus fort impact au niveau des éoliennes E1 et E3**. La mortalité engendrée par an au niveau des ces deux éoliennes est forte et avoisine les 20 individus, avec environ 50% de chiroptères / 50% d'oiseaux. Bien que le total soit plus petit, **la mortalité est également importante au niveau de l'éolienne E2, l'impact n'ayant eu lieu que sur des chiroptères** (dont un Grand Murin, espèce considérée à la base pas sensible au risque de collision).

Ainsi, après une correction de + 30 % pour les chiroptères et + 60 % pour les oiseaux liée à la période non suivie (novembre - juillet), les estimations de la mortalité moyenne par éolienne sont d'environ 11 cadavres par an de chiroptères et de 5,7 cadavres par an pour les oiseaux. Au total, cela correspond à **une mortalité moyenne de 16,7 cadavres par an par éolienne**, ce qui rejoint le résultat du tableau précédent (16,4 cadavres par an par éolienne).

4.1.3.3 Conclusions sur les estimations de la mortalité réelle

Malgré la mise en place d'un premier bridage prédictif, la mortalité moyenne engendrée sur le parc des Champs d'Amour est estimée à un peu plus de **47 cadavres pour la période du suivie**, soit de mi-août à mi-octobre avec un intervalle de confiance à 80 % compris entre 27 et 81, **dont environ 33 chauves-souris et 14,5 oiseaux**.

En appliquant une correction liée à la période non suivie (+ 30 % pour les chiroptères, + 60 % pour les oiseaux 4.1.3), la mortalité atteint une valeur médiane de **66 individus sur l'ensemble du parc et par an, dont près des deux tiers sont des chauves-souris (43 chiroptères et 23 oiseaux)**.

La mortalité par éolienne montre que celle-ci avoisine une valeur médiane de **17 individus tués par an**, avec les mêmes proportions, deux tiers chauves-souris / un tiers oiseaux. Elle est concentrée sur les

éoliennes E1 à E3, avec l'éolienne E2 n'ayant impacté que des chiroptères. Bien qu'aucune mortalité brute n'ait été relevée sur l'éolienne E4, il n'est pas possible de considérer son impact comme nul.

En effet, la surface était très peu prospectable (17 %), réduisant les chances de détection d'individus morts. De plus, elle se trouve dans le même contexte environnemental que les trois autres, elle aussi située à proximité d'une zone boisée, elle ne sera donc pas séparée des mesures de réductions des impacts proposées par la suite.

4.1.4 ANALYSE DE LA MORTALITÉ ET ÉVALUATION DE L'IMPACT RÉSIDUEL

4.1.4.1 Répartition spatiale

L'ensemble des cadavres a été découvert au pied des éoliennes E1, E2 et E3. Aucun n'a été trouvé sous l'éolienne E4.

Compte tenu de l'homogénéité du contexte paysager localement et aux abords du parc éolien des Champs d'Amour, cela ne permet pas d'expliquer la répartition spatiale observée. En effet, toutes les éoliennes sont situées dans un paysage de campagne berrichonne, implantées en culture avec la présence de bosquets ou haies arborées à proximité. **L'absence de cadavre détecté sous l'éolienne E4 peut s'expliquer par sa sous-prospection** : en effet, seul 17% de la surface théoriquement prospectable a pu faire l'objet du suivi, le reste étant occupé par une culture de maïs, trop dense pour permettre un suivi efficace.

De plus, les éoliennes E1 et E3 accusent un nombre plus important de cadavres par rapport aux deux autres. **Cela s'explique probablement par le fait qu'elles étaient bridées seulement sur les 3 premières heures de la nuit, alors qu'E2 et E4 l'étaient sur les 6 premières heures de la nuit (voir ci-après paragraphe 6.1)**.

La distribution des cadavres découverts est **répartie sur l'ensemble du diamètre de prospection** : ils ont ainsi été découverts entre 10 et 64 m de distance au mât. D'après la bibliographie, une majorité des cadavres tombe dans un rayon de 50m autour des mâts (GRÜNKORN *et al.*, 2005 ; BRINKMANN *et al.*, 2011). 15 des 16 cadavres se trouvent dans le rayon des 50 m, le dernier, une Pipistrelle commune, ayant été détecté en dehors du rayon de prospection théorique en raison de la bonne visibilité du labour. Il pourrait être intéressant d'élargir le rayon de détection lors de suivis ultérieurs.

4.1.4.2 Analyse de la mortalité constatée sur les oiseaux

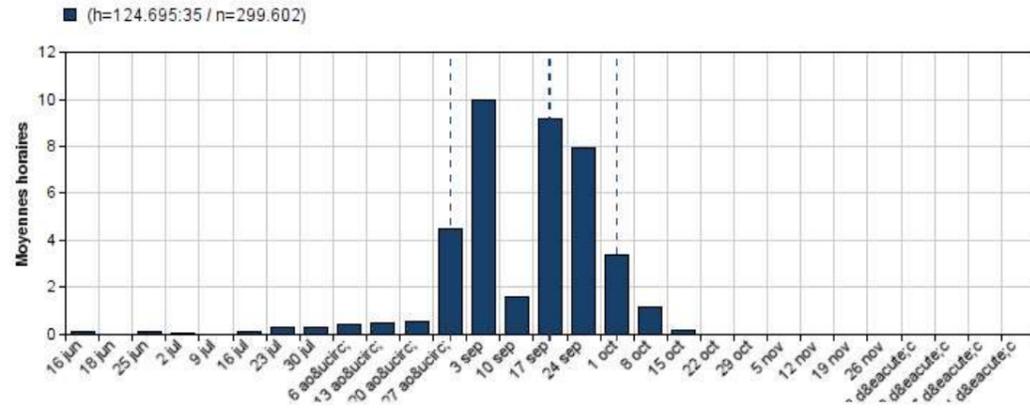
Les oiseaux représentent un tiers de la mortalité constatée, avec 5 individus découverts sur le parc des Champs d'Amour.

La mortalité des oiseaux concerne uniquement des **passereaux**. Les espèces ainsi impactées en 2019 sont : le Roitelet à triple bandeau (3 individus), l'Hirondelle de fenêtre (1 individu) et le Pouillot fitis (1 individu). Il s'agit pour chacun d'entre eux **d'individus migrants**, impactés durant leur trajet de migration postnuptiale.

La liste des cadavres découverts sur le parc en 2019 (avec le détail des dates de découvertes, les éoliennes concernées, l'état des cadavres, la distance au mât, etc...) est donnée en annexe 3.

Une Hirondelle de fenêtre a été retrouvée au pied de l'éolienne 1 le 03/09/2019. Il s'agissait d'un jeune de l'année, fraîchement impacté au moment de la découverte et avec le cou brisé. L'espèce migre à la fin de l'été pour rejoindre ses quartiers d'hivernage en Afrique. La date de découverte correspond au pic de migration de l'espèce (cf. ci-dessous), l'individu est donc considéré comme un migrant.

Hirondelle de fenêtre - nombre moyen par heure / semaine normale



Phénologie de la migration automnale de l'Hirondelle de fenêtre en France (source : www.trektellen.org)

Au vu des tailles de populations estimées en Europe (11,2 millions de couples selon BirdLife International, 2015), le total de cadavres connu en Europe (298 cas au 7 janvier 2020 selon T. Dürr) implique une **sensibilité au risque de collision de niveau faible**.

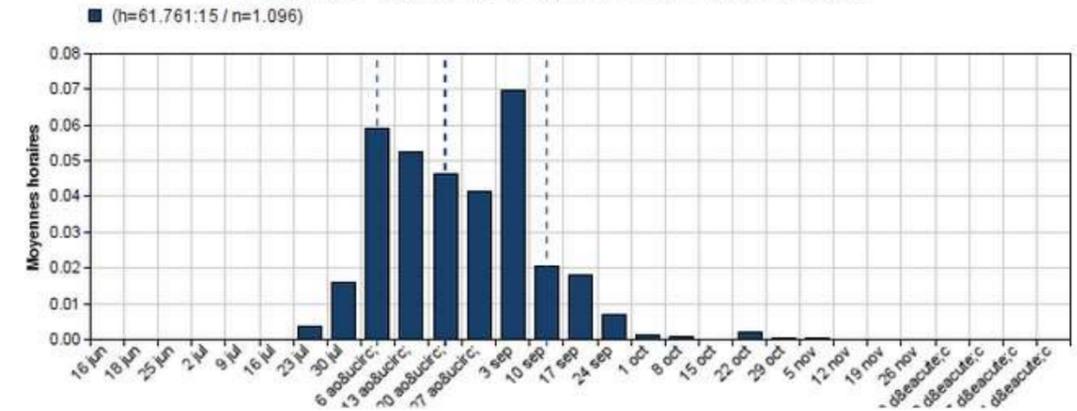


Hirondelle de fenêtre (éolienne 1, le 03/09/2019) (L. Boutault – Ecosphère)



Un **Pouillot fitis** de première année a été retrouvé le 10/09/2019, également sous l'éolienne 1. L'individu a été déterminé à partir de critères morphologiques et des plumes. Il était dans un état de décomposition relativement avancé, avec la présence d'insectes détritovores. Cette espèce, nicheuse dans les ¾ nord de la France, apprécie les milieux arbustifs et de transition avec des habitats plus ouverts, évoluant rapidement (clairières et coupes forestières, jeunes saulaies, ...). Visiteuse d'été, elle migre dès le mois d'août vers l'Afrique et revient en Europe au début du printemps. Ici, la date de découverte correspond à la période de migration de l'espèce (cf. ci-dessous), l'individu est donc considéré migrateur.

Pouillot fitis - nombre moyen par heure / semaine normale



Phénologie de la migration automnale du Pouillot fitis en France (source : www.trektellen.org)

Au vu des tailles de populations estimées en Europe (62,2 millions de couples selon BirdLife International, 2015), le nombre de cadavres recensés en Europe (23 individus, au 7 janvier 2020 selon T. Dürr) implique une **sensibilité au risque de collision de niveau faible**.



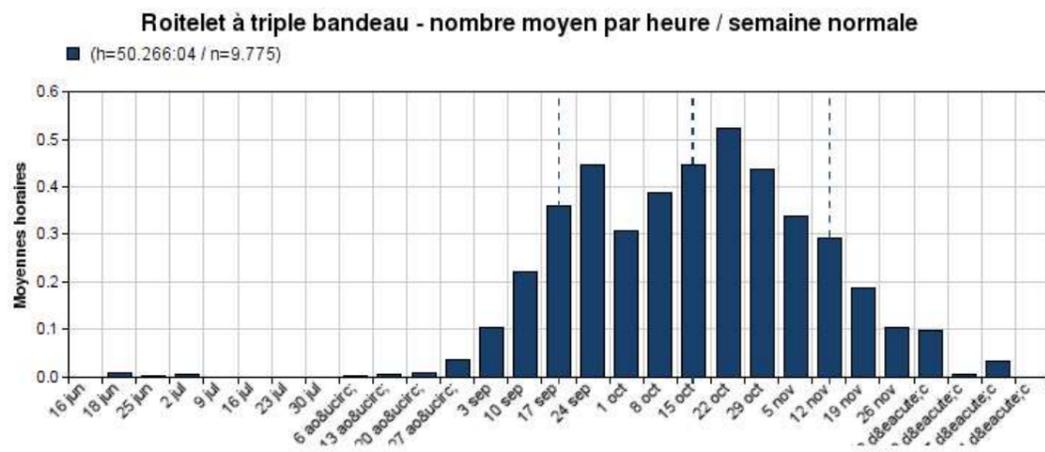
Pouillot fitis (éolienne1, le 10/09/2019) (L. Boutault – Ecosphère)

Trois **Roitelets à triple bandeau** ont été découverts durant la deuxième quinzaine de septembre, tous au pied de l'éolienne 3. Le premier, trouvé le 17/09/2019, était prédaté, seules quelques plumes ont pu être observées et ont permis d'identifier le cadavre. Les deux autres individus, trouvés le 20/09/2019, sont un mâle très frais et dont la mort est supposée de la nuit précédente, et une femelle, en décomposition plus avancée, la mort remontant de quelques jours.



Cadavres de Roitelets à triple bandeau (éolienne 3 le 20/09/2019) (L. Boutault – Ecosphère)

Les roitelets sont des migrateurs partiels¹⁰, présents toute l'année en France mais dont les individus du nord de l'Europe migrent vers le Sud en passant par la France. Le Roitelet à triple bandeau est nicheur dans tout type de boisement. En période de migration et au vu des très nombreux cadavres découverts sur l'ensemble des parcs éoliens en France ou en Europe, l'espèce fréquente des milieux très divers et leur comportement semble différer sensiblement. **Les roitelets impactés lors de ce suivi sont des migrants**, les dates de découvertes des cadavres correspondant au pic de migration de l'espèce, à savoir entre septembre et octobre (cf. ci-dessous Erreur ! Source du renvoi introuvable.).



Phénologie de la migration automnale du Roitelet à triple bandeau en France (source : www.trektellen.org)

Au vu des tailles de populations estimées en Europe (4,18 millions de couples selon BirdLife International, 2015), le total de cadavres connu en Europe de 261 individus implique une **sensibilité au risque de collision de niveau faible**.

Toutefois, il est à noter qu'il s'agit **d'une des espèces d'oiseaux les plus concernées par le risque de collision** (le Roitelet à triple bandeau étant le 4^{ème} passereau après l'Alouette des champs, le Bruant proyer et l'hirondelle de fenêtre à l'échelle de l'Europe et le 1^{er} oiseau tous groupes confondus en France). **Près de 60 % des Roitelets à triple bandeau impactés le sont en France**, ce qui confère une responsabilité à ce pays. Il convient par ailleurs d'ajouter que les chiffres de mortalité sont très

probablement sous-estimés du fait de la disparition rapide (dégradation naturelle + prédation) de leurs cadavres. Un autre facteur de sous-estimation lié à la phénologie de ces espèces vient s'ajouter : de nombreux suivis de mortalité, desquels sont issus une majorité des chiffres de Dürr, échantillonnent peu les périodes de vol de cette espèce (octobre/novembre). De récents suivis en France démontrent par exemple que les roitelets payent un tribut de plus en plus lourd qu'il convient d'analyser en termes d'impacts cumulatifs. Outre l'existence de flux migratoires à travers le parc éolien, les populations d'oiseaux migrateurs impactées par les éoliennes pourraient être aussi attirées par les balisages lumineux lorsqu'ils sont en migration. Le Roitelet à triple bandeau présente une dynamique favorable (âge adulte rapidement atteint, taux de reproduction important, etc.) et les tendances européennes et françaises montrent une stabilité des tailles de population. Au vu de cet ensemble de critères, **la sensibilité à ce type d'impact est gardée à faible**.

Le tableau en page suivante présente le niveau d'impact avéré du parc des Champs d'Amour sur les oiseaux dont des cas de collision ont été relevés en 2019.

Statuts et enjeux des espèces d'oiseaux impactées

					1	2	1 x 2 = 3	4	3 x 4 = 5
	LR E	LRN nicheurs	LRN migrants	LRR	Portée de l'impact	Sensibilité à l'impact (Dürr 2019)	Intensité d'impact	Enjeu spécifique	Niveau d'impact constaté par la mortalité
Hirondelle de fenêtre <i>Delichon urbicum</i>	LC	NT	DD	LC	Faible 1 cadavre (E1, 03/09/19) Individu migrateur	Faible (298 en Europe, dont 12 en France)	Faible	Faible	Négligeable
Pouillot fitis <i>Phylloscopus trochilus</i>	LC	NT	DD	LC	Faible 1 cadavre (E1, 10/09/19) Individu migrateur	Faible (23 en Europe, aucun en France)	Faible	Faible	Négligeable
Roitelet à triple bandeau <i>Regulus ignicapilla</i>	LC	LC	NA	LC	Faible 3 cadavres (E3, 17/09/19 et 20/09/19) Individus migrants	Faible (261 en Europe, dont 160 en France)	Faible	Faible	Négligeable

Toutes ces espèces, sont néanmoins protégées à l'échelle nationale en vertu de l'arrêté du 29 octobre 2009 (publié au J.O. du 5 décembre 2009) modifiant celui du 3 mai 2007, lui-même issu de l'arrêté du 17 avril 1981. Cette protection concerne les individus ainsi que les sites de reproduction et de repos des espèces.

au long de l'année, sont dites migratrices partielles. Il s'agit généralement d'espèces migratrices petit ou moyen-courrier.

¹⁰ Les populations ou espèces chez lesquelles seule une partie des individus effectue une migration, ou dont le renouvellement (les oiseaux du nord remplaçant ceux du sud) donne l'impression d'une présence continue tout

4.1.4.3 Analyse de la mortalité constatée sur les chauves-souris

11 chiroptères ont été retrouvés au pied des éoliennes du parc des Champs d'Amour lors de ce premier suivi en 2019.

La mortalité constatée chez les chiroptères et comprise entre le 20/08 et le 20/09/2019 et concerne cinq espèces différentes : la Pipistrelle commune (7 individus), la Pipistrelle de Kuhl (1 individu), la Pipistrelle de Nathusius (1 individu), la Noctule de Leisler (1 individu) et le Grand Murin (1 individu).

La **Pipistrelle commune** est une espèce très commune sur l'ensemble de la région dans tous types de milieux. Les individus découverts sont tous des femelles, à l'exception de 2 dont le sexe n'a pu être déterminé en raison de l'état de décomposition des cadavres. Ils sont probablement issus des populations locales reproductrices des environs. En l'absence de critères morphologiques et dentaires déterminants à ce jour, les identifications réalisées ne peuvent exclure la Pipistrelle pygmée. Toutefois, cette espèce est plutôt présente au sud du pays avec une répartition morcelée ailleurs et sa présence dans l'Indre ou dans les départements limitrophes est rare. Au vu du total de cadavres connu en Europe et en France (2 388 / 995 cas au 7 janvier 2020 selon T. Dürr), elle est considérée comme ayant une **sensibilité au risque de collision de niveau fort**.



Pipistrelles communes (éolienne 3, le 30/08/2019 à gauche ; éolienne 1, le 03/09/2019 à droite)
(L. Boutault – Ecosphère)

La **Pipistrelle de Kuhl**, également commune dans la région, fréquente les milieux anthropisés ainsi que les milieux agricoles ou forêts de basse altitude. La Pipistrelle de Kuhl chasse aussi bien en milieux ouverts que boisés. L'individu découvert est une femelle issue très probablement des populations locales, rien ne laissant supposer le caractère migrateur de l'espèce. Au vu du total de cadavres connu en Europe et en France (469 / 219 cas au 7 janvier 2020 selon T. Dürr), elle est considérée comme ayant une **sensibilité au risque de collision de niveau fort**.



Pipistrelle de Kuhl (éolienne 2, le 20/09/2019)
(L. Boutault – Ecosphère)



Pipistrelle de Nathusius (éolienne 3, le 13/09/2019)
(L. Boutault – Ecosphère)

La **Pipistrelle de Nathusius** gîte principalement dans les arbres. On la trouve dans les forêts de feuillus mais également dans les forêts de résineux et mixtes. Elle apprécie les forêts riches en plans d'eau et en mares. Elle chasse les insectes en volant le long des lisières, des allées boisées ou bien au-dessus des étendues d'eau (étang, rivière, fleuve, ...). C'est une grande migratrice qui se reproduit dans le nord-est de l'Europe et hiverne sur les côtes méditerranéennes et atlantiques. Au vu du total de cadavres connu en Europe et en France (1 594 / 272 cas au 7 janvier 2020 selon T. Dürr), elle est considérée comme ayant une **sensibilité au risque de collision de niveau fort**.

La **Noctule de Leisler** est également commune dans la région, mais l'individu découvert correspond très certainement à un migrateur. En effet, la mortalité sur le parc a eu lieu au cœur du pic de migration de cette espèce (03/09/2019). La Noctule de Leisler est une espèce forestière chassant dans les sous-bois, le long des chemins forestiers et des lisières. Elle apprécie également les zones humides telles que les étangs forestiers, les lacs, et les rivières. Les colonies changent régulièrement de gîtes durant l'été et peuvent utiliser plusieurs arbres-gîtes en une seule saison. Grande migratrice, elle peut réaliser des parcours de plusieurs centaines de kilomètres entre ses gîtes estivaux et ses sites d'hivernation. Les migrations concernent surtout les femelles. Au vu du total de cadavres connu en Europe et en France (1 714 / 253 cas au 7 janvier 2020 selon T. Dürr), elle est considérée comme ayant une **sensibilité au risque de collision de niveau fort**.



Noctule de Leisler (éolienne 2, le 03/09/2019)
(L. Boutault – Ecosphère)



Grand Murin (éolienne 2, le 20/08/2019)
(L. Boutault – Ecosphère)

Le **Grand Murin** est une espèce de murin commune dans la région Centre Val-de-Loire. Le seul individu découvert en août correspond à une femelle issue de populations relativement locales (rayon de quelques dizaines de kilomètres possible). Les données bibliographiques indiquent que ses populations comptent quelques milliers d'individus reproducteurs dans l'Indre (Boyer et Chatton, 2009). Le Grand Murin est une espèce fréquentant des milieux mixtes avec des haies, des prairies et des bois. Les vieilles forêts de feuillus constituent ses habitats de chasse préférentiels. La majorité des terrains de chasse autour d'une colonie se situe dans un rayon de 10 à 30 km. Les colonies de reproduction sont souvent localisées dans les combles de château, d'église ou encore de bâtiment de ferme. Elles s'établissent dès le début du mois d'avril jusqu'à fin septembre. Les colonies d'une même région forment souvent un réseau au sein duquel les échanges d'individus sont possibles. Au vu du total de cadavres connu en Europe et en France (7 / 3 cas au 7 janvier 2020 selon T. Dürr), elle est considérée comme ayant une **sensibilité au risque de collision de niveau faible**.

Statuts et enjeux des espèces de chauves-souris impactées

				1	2	1 x 2 = 3	4	3 x 4 = 5
	LRE	LRN	LRR	Portée de l'impact	Sensibilité à l'impact (maximum entre Dürr, jan. 20 et Eurobats, juin 18)	Intensité d'impact	Enjeu spécifique	Niveau d'impact mortalité
Noctule de Leisler <i>Nyctalus leisleri</i>	LC	NT	NT	Moyen 1 cadavre (E2, 03/09/2019) Individu migrateur de populations de taille moyenne	Forte (714 en Europe, dont 153 en France)	Assez forte	Moyen	Moyen
Pipistrelle commune <i>Pipistrellus pipistrellus</i>	LC	NT	LC	Forte 7 cadavres, dont 5 femelles Individus locaux issus de grandes populations	Forte (2 388 en Europe, dont 995 en France)	Forte	Faible	Moyen
Pipistrelle de Kuhl <i>Pipistrellus kuhlii</i>	LC	LC	LC	Moyenne 1 cadavre (E2, 20/09/2019) Individu local probable	Forte (469 en Europe, dont 219 en France)	Assez forte	Faible	Faible
Pipistrelle de Nathusius <i>Pipistrellus nathusii</i>	LC	NT	NT	Moyenne 1 cadavre (E3, 13/09/2019) Individu migrateur	Forte (1594 en Europe, dont 272 en France)	Assez Fort	Moyen	Moyen
Grand Murin <i>Myotis myotis</i>	LC	LC	LC	Forte 1 cadavre (E2, 20/09/2019) Individu local	Faible (7 en Europe, dont 3 en France)	Assez forte	Faible	Faible

Toutes ces espèces sont par ailleurs protégées à l'échelle nationale en vertu de l'arrêté du 23 avril 2007 fixant la liste des mammifères terrestres protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection. Cette protection concerne les individus ainsi que les sites de reproduction et de repos des espèces.

4.1.5 CONCLUSION SUR LE SUIVI DE MORTALITÉ

Le suivi réalisé en 2019 sur le parc des Champs d'Amour était constitué de **16 passages répartis entre le 20 août et le 11 octobre 2019, à raison de 2 par semaine, soit un intervalle moyen entre les passages de 3,5 jours**. Les 4 éoliennes du parc ont été suivies sur l'ensemble de la période. Les recherches ont été réalisées dans un **rayon de 55 m** autour du mât. La **surface moyenne de prospection est de 78 % sur l'intégralité du suivi** (variant de 17 à 100 % selon l'éolienne). Les tests de détection réalisés pour les deux observateurs montrent une **délectabilité moyenne de 78 %**. Le test de persistance réalisé à partir de 20 leurres montrent une **persistance moyenne de 50 %** durant l'intervalle (3 j).

16 cadavres ont été découverts entre le 20 août et le 20 septembre, dont la majorité était des chauves-souris. Ces résultats bruts de mortalité ont été corrigés selon 3 modèles (Erickson, Huso et Jones) à partir de nos calculs et de l'application EolApp développée par Besnard et Bernard. Malgré la mise en place d'un premier bridage prédictif, la mortalité moyenne est estimée à un peu plus de **47 cadavres pour la période du suivi**, avec un intervalle de confiance à 80 % compris entre 27 et 81, **dont environ 33 chauves-souris et 14,5 oiseaux**.

En appliquant une correction liée à la période non suivie (+ 30 % pour les chiroptères, + 60 % pour les oiseaux), la mortalité atteint une valeur médiane de **66 individus sur l'ensemble du parc et par an, dont près des deux tiers sont des chauves-souris (43 chiroptères et 23 oiseaux)**.

La mortalité par éolienne montre que celle-ci avoisine une valeur médiane de **17 individus tués par an** (2/3 chauves-souris et 1/3 oiseaux). Elle est concentrée sur les éoliennes E1 à E3, avec l'éolienne E2 n'ayant impacté que des chiroptères. Bien qu'aucune mortalité brute n'ait été relevée sur l'éolienne E4, il n'est pas possible de considérer son impact comme nul puisque la surface était très peu prospectable (17 %). De plus, elle se trouve dans le même contexte environnemental que les trois autres, elle aussi située à proximité d'une zone boisée.

En conclusion, le niveau d'impact résiduel constaté par la mortalité en 2019, issu du croisement entre l'intensité de l'impact et de l'enjeu de conservation des espèces, est de niveau :

- **moyen pour 3 espèces de chauves-souris** : Noctule de Leisler, Pipistrelle de Nathusius et Pipistrelle commune ;
- faible à négligeable pour les autres espèces.

4.2 SUIVI ACOUSTIQUE EN NACELLE

4.2.1. VALIDITÉ DU MATÉRIEL UTILISÉ

Le micro du Batmode S, et notamment sa capsule exposée aux intempéries extérieures, peut montrer des variations de sensibilité et ainsi affecter la bonne détectabilité des ultrasons émis par les chauves-souris. Un test de calibration quotidien à midi a automatiquement été effectué pour vérifier la qualité du micro tout au long du suivi. Les graphiques ci-dessous présentent les variations des résultats de la sensibilité mesurée du micro. Les horizontales verte et rouge représentent les limites supérieures et inférieures de valeurs considérées comme bonnes selon le constructeur (± 6 dBFS autour de la valeur initiale de la calibration certifiée). Les baisses de sensibilité peuvent s'expliquer notamment par la présence de poussière ou d'humidité (brouillard, condensation) sur la capsule du micro. **Pour ce suivi acoustique, le micro a été opérationnel tout au long du suivi.**

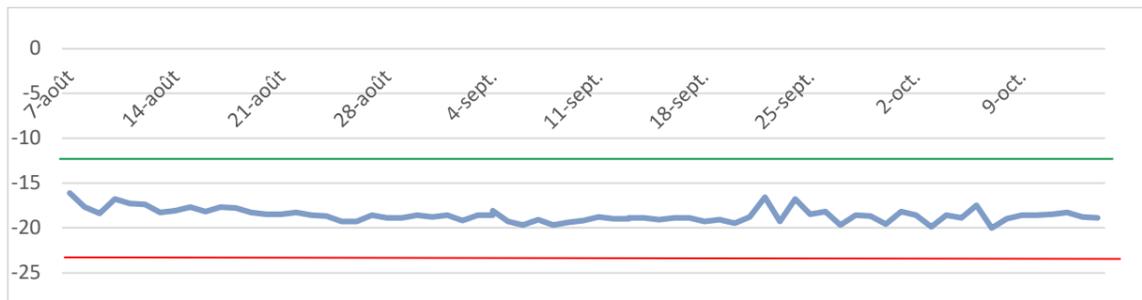


Figure 4 - Valeurs de calibration quotidienne du micro du Batmode S+ (ref rms level [dBFS])

4.2.2. DESCRIPTION DES ACTIVITÉS ENREGISTRÉES

4.2.2.1. Bilan par mois et par espèce

Sur l'ensemble de cette période, **2 322 contacts de chauves-souris ont été enregistrés**. Le détail du nombre de contacts par mois et par espèce est présenté dans le tableau suivant, illustrant de manière chiffrée l'activité mensuelle de chacune des espèces enregistrées. A noter la présence durant le mois d'août d'une espèce de bas à moyen vol, à savoir le Grand Murin. Ceci est relativement rare à hauteur de nacelle.

Tableau 11 : Activités mensuelles enregistrées depuis la nacelle de l'éolienne 2 du 7 août au 14 octobre 2019

Mois	Noctule de Leisler	Noctule commune	Noctule indéterminée	Sérotine commune	Sérotules	Pipistrelle commune	Pipistrelle de Kuhl	Pipistrelle de Nathusius	Pipistrelle de Kuhl/Nathusius	Grand Murin	Total
Août (25 nuits)	278	911	4	1	13	25	23	1	2	3	1261
Septembre (30 nuits)	93	192				285	19	9	11		609
Octobre (13 nuits)	56	339			14	23	9	1	10		452
Total	427	1442	4	1	27	333	51	11	23	3	2322

Les espèces majoritairement contactées sont les Noctules communes et de Leisler ainsi que la Pipistrelle commune. Le nombre de contacts par nuit est important et semble se concentrer au début et durant la deuxième quinzaine du mois d'août, aux alentours de la mi-septembre, ainsi que début et mi-octobre 2019. Le seul pic d'activité de la Pipistrelle commune a eu lieu début septembre.

Trois autres espèces ont été plus faiblement contactées : les Pipistrelles de Kuhl et de Nathusius, et le Grand Murin. Les pics d'activité de ces deux pipistrelles se situent aux alentours de la mi-septembre et au début octobre. La présence de quelques Grands Murins à hauteur de nacelle est à noter, exclusivement au mois d'août (pour la période du suivi considérée).

4.2.2.2. Chronologie de l'activité

Les deux graphiques suivants présentent la chronologie quotidienne du suivi selon les groupes d'espèces. Les activités quotidiennes sont irrégulièrement distribuées avec l'apparition de pics ponctuels élevés (> 50 contacts /nuit). Peu de contacts ont été enregistrés après la mi-septembre, à l'exception de trois nuits début octobre.

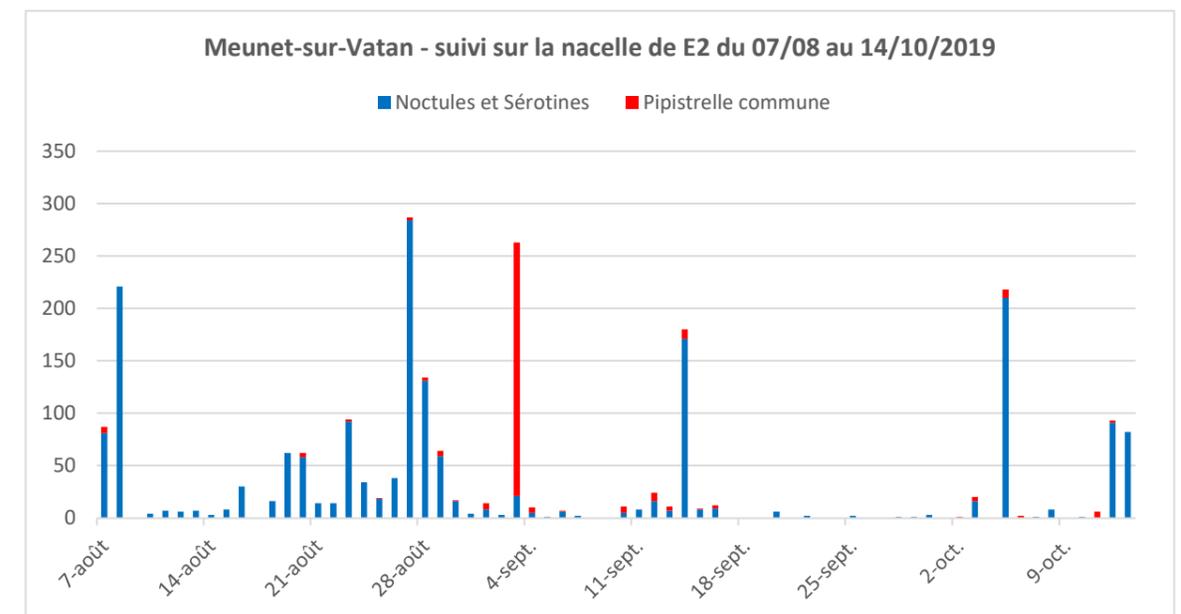


Figure 5 – Chronologie de l'activité quotidienne du suivi acoustique depuis la nacelle de E2

Pour les Pipistrelles de Kuhl/Nathusius et le Grand murin, les contacts par nuit sont de l'ordre de 10 fois moindre, et davantage irrégulier ; même si une vague de contacts a été enregistrée sur plusieurs nuits consécutives vers la mi-septembre.

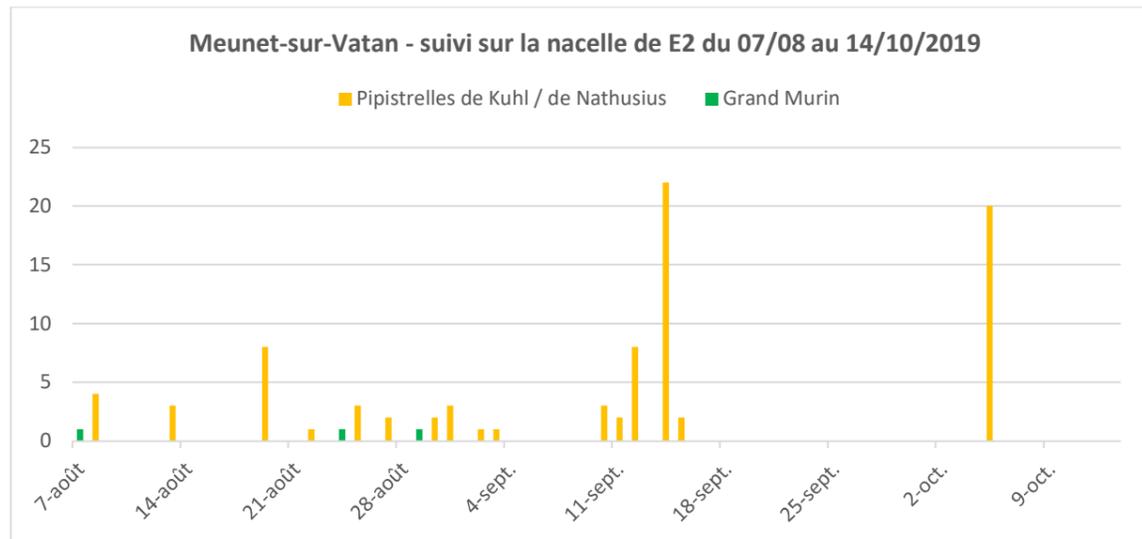


Figure 6 - Chronologie de l'activité quotidienne du suivi acoustique depuis la nacelle de E2 (suite)

Le graphique ci-après représente l'ensemble des contacts de chauves-souris enregistrés chaque nuit en fonction de l'heure après le coucher du soleil.

L'activité chiroptérologique en altitude, durant la période du suivi automnale 2019, s'étale réellement jusqu'au 15 septembre, et ce peu importe l'heure de la nuit. Quelques pics d'activité ont été notés en octobre, résultant probablement d'événements météorologiques favorables au vol des chauves-souris (absence de pluie, températures supérieures à la moyenne, vent faible, etc.).

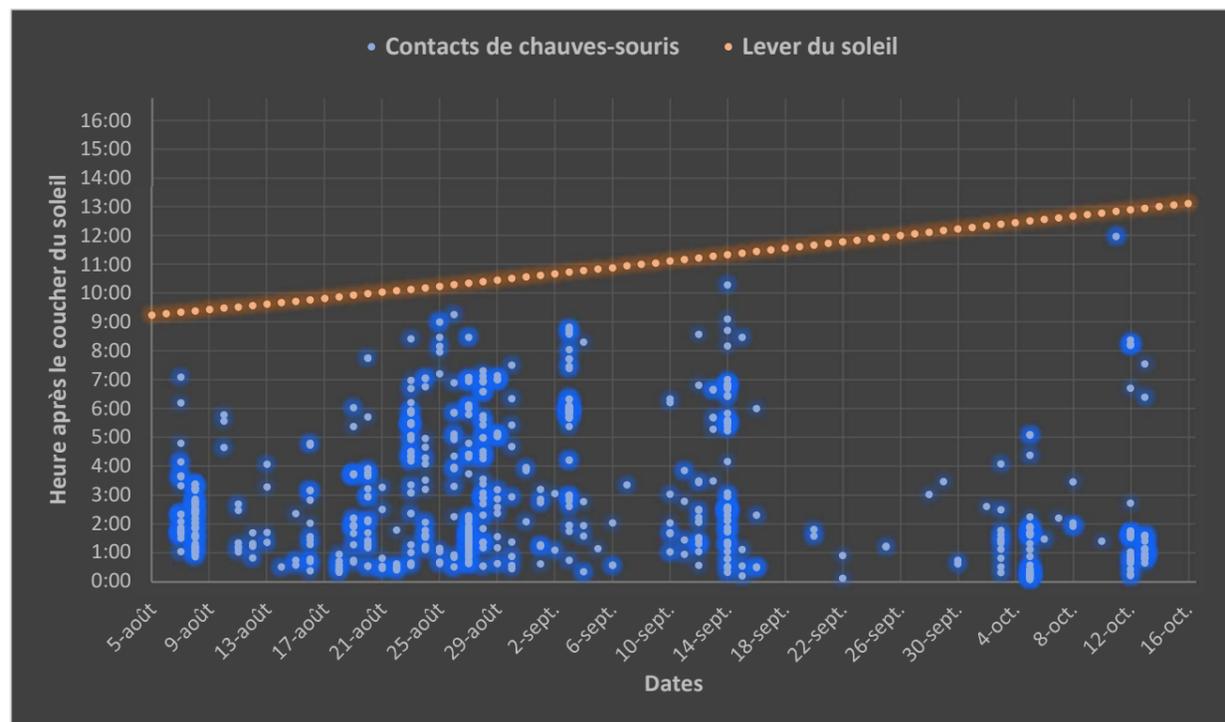


Figure 7 - Distribution des contacts en fonction de la date et de l'heure du coucher du soleil. Le lever du soleil est représenté par la courbe de points orange.

4.2.3. SYNTHÈSE ET ÉVALUATION DES ACTIVITÉS

4.2.3.1. Indicateurs de la fréquentation

Le tableau suivant synthétise l'ensemble de ces résultats à l'aide de plusieurs indicateurs :

- le nombre de nuits où le suivi a été opérationnel ;
- le nombre de nuits avec au moins 1 contact enregistré (nuit positive) ;
- la moyenne par nuit des contacts (toutes espèces confondues) sur toutes les nuits suivies ;
- la moyenne par nuit des contacts des espèces dites migratrices* (noctules et Pipistrelle de Nathusius) sur toutes les nuits suivies ;
- le nombre maximal de contacts (toutes espèces confondues) par nuit ;

Sur la période du suivi, les moyennes des contacts par nuit des espèces de haut vol sont **très importantes pour les milieux ouverts**, atteignant une moyenne mensuelle maximale de 48,3 contacts par nuit durant le mois d'août. A noter également que le nombre de nuits « positives » (avec au moins un contact enregistré) mensuelles dépasse les 66 % entre août et octobre.

Tableau 12 : Bilan statistique du suivi depuis la nacelle de l'éolienne 2 du 7 août au 14 octobre 2019

Mois	Nuits suivies	Nuits "positives" avec au moins un contact	Moyenne de contacts par nuit suivie	Moyenne de contacts d'espèces migratrices de haut vol par nuit suivie	Maximum de contacts en une nuit
Août	25	23	50,4	48,3	289
Septembre	30	20	20,3	9,8	264
Octobre	13	10	34,8	31,5	238

4.2.3.2. Évaluation par comparaison avec un référentiel d'activité (compilation des résultats en contacts par nuit) issus d'autres suivis en nacelle

Écosphère a produit un référentiel d'activité en altitude (« Altisphère ») compilant de nombreux suivis réalisés entre 2011 et 2019. Ce référentiel a été décliné en plusieurs modules selon le type de suivi en altitude (mât, canopée, nacelle) et la hauteur du micro (35-60m, >60m, etc...).

Les données de ces suivis ont été compilées et une méthode habituellement utilisée en statistique et théorie des probabilités a été appliquée : les quantiles. Ce sont les valeurs qui divisent un jeu de données en intervalles contenant le même nombre de données. Il y a donc un quantile de moins que le nombre de groupes créés.

Différentes valeurs ont par conséquent été obtenues pour les seuils des quantiles 25 %, 50 %, 75 % et 90 %. Ces 4 seuils permettent ainsi d'établir 5 classes d'activités pour chaque espèce allant de faible (nombre de contacts inférieurs au nombre défini pour le quantile 25 %) à très forte (nombre de contacts supérieurs au quantile 90 %).

Tableau 13 : Référentiel d'activité en altitude « Altisphère » - valeurs issues d'une compilation de 408 avec au moins 1 contact a été enregistré. Données pour 10 éoliennes réparties sur 7 sites différents implantés en milieu ouvert (2016 à 2018) dans le grand quart nord-ouest de la France

REFERENTIEL NACELLES Quart nord-ouest de la France en milieux ouverts		Seuils de nombre de contacts par nuit			
Espèce	Q25 %	Q50 %	Q75 %	Q90 %	
TOUTES ESPECES	2	4	9	26	
Noctule commune	1	2	6	15	
Noctule de Leisler	1	2	5	9	
Sérotine commune	0	0	0	1	
Sérotine / Noctules	1	3	6	15	
Pipistrelle commune	1	3	7	17	
Pipistrelle de Kuhl	1	2	5	10	
Pipistrelle de Nathusius	1	1	4	4	
Pipistrelle de Kuhl/Nathusius	1	2	4	8	
Murin indéterminé	0	0	0	1	

Le tableau ci-dessous répartit les résultats du suivi (nombre de nuits « positives » toutes espèces confondues) dans les différentes classes d'activité délimitées par les seuils du référentiel « Altisphère » correspondant. Le nombre de nuits « positives » supérieures au quantile 75 % est indicateur d'une activité particulièrement forte et remarquable.

Sur la période du suivi 2019 (68 nuits, dont 53 « positives»), 31 nuits ont été classées comme ayant une activité chiroptérologique sensiblement importante.

Tableau 14 : Distribution des résultats en nombre de nuits par classe d'activités (toutes espèces) pour chaque mois selon le référentiel « Altisphère » (nacelle, milieux ouverts, quart nord-ouest de la France)

Mois	Q1-25	Q25-50	Q50-75	Q75-90	Q90-100
Août (25 nuits)		2	4	6	11
Septembre (30 nuits)	6	2	2	7	3
Octobre (13 nuits)	4		2	1	3

Le tableau suivant résume le nombre de nuits « positives » par classe d'activité et par espèce.

La Noctule commune et la Noctule de Leisler sont les deux espèces ayant le plus grand nombre de nuits « positives » à des niveaux supérieurs au quantile 75 % (26 et 21 respectivement). Les autres espèces ont des niveaux d'activité beaucoup plus modérés (seulement entre 1 et 4 nuits supérieures au quantile 75 %).

Tableau 15 : Distribution des résultats en nombre de nuits par classe d'activité pour chaque espèce selon le référentiel « Altisphère » (nacelle, milieux ouverts, quart nord-ouest de la France)

	Q1-25	Q25-50	Q50-75	Q75-90	Q90-100
Noctule commune	1	5	8	11	15
Noctule de Leisler	10		8	7	14
Noctule indéterminée			1		
Sérotine commune				1	
Sérotine/Noctules	1	1	2	1	
Pipistrelle commune	5	6	9	3	1
Pipistrelle de Kuhl	1	2	6	3	
Pipistrelle de Nathusius		2	1		1
Pipistrelle de Kuhl/Nathusius	1	1			2
Grand Murin				3	
Toutes espèces confondues	10	4	8	14	17

Enfin, il est important de rappeler :

- que le raisonnement porte sur des nombres de contacts, et non sur des nombres d'individus. De fait, des contacts enregistrés en début et fin de nuit peuvent raisonnablement correspondre aux mêmes individus transitant dans le parc éolien ;
- que des variations interannuelles peuvent survenir (conditions météorologiques, activité des chauves-souris...) et que le principe de précaution est de mise quant aux conclusions de l'étude.

5. EVALUATION DES IMPACTS

5.1 ÉVALUATION DES RISQUES DE COLLISION SPÉCIFIQUES AU PARC

5.1.1 CHAUVES-SOURIS

Le tableau ci-dessous détaille les niveaux de risque de collision pour chaque mois du suivi.

Tableau 16 – Évaluation de risque de collision contextualisée par mois sur la base de la sensibilité des espèces (forte), les activités enregistrées et les cadavres découverts malgré le premier bridage mis en place

	Critères d'évaluation	Niveau de risque de collision selon l'activité en altitude et les espèces
Août (25 nuits)	Activités très importantes avec plus d'un millier de contacts de noctules, 17 nuits avec Q>75%, 1 cadavre de Grand murin (mortalité rare), 2 cadavres de Pipistrelle commune, 7 espèces avec impact résiduel moyen	Fort
Septembre (30 nuits)	Activités importantes avec encore plusieurs centaines de contacts de noctules et de Pipistrelle commune jusqu'à la mi-septembre, 10 nuits avec Q>75%, 5 cadavres de Pipistrelle commune, 1 Noctule de Leisler, 1 Pipistrelle de Nathusius, 1 Pipistrelle de Kuhl, 5 espèces avec impact résiduel moyen	Assez fort
Octobre (13 nuits)	Activités importantes avec encore plusieurs centaines de contacts de noctules mais que quelques dizaines de pipistrelles en général sur la moitié du mois, 4 nuits avec Q>75%, 5 espèces avec impact résiduel moyen Aucun cadavre découvert jusqu'au 11 octobre	Moyen

Note importante : Toutes ces données recueillies sur une seule année ne permettent pas de prévoir les activités futures (variations interannuelles) mais seulement d'évaluer a priori les conditions du risque de collision/barotraumatisme.

5.1.2 OISEAUX

Aucune espèce considérée comme sensible au risque de collision n'a été trouvée. Les espèces découvertes par les recherches de cadavres, à savoir l'Hirondelle de fenêtre (1), le Pouillot fitis (1) et le Roitelet triple-bandeau (3), ont des populations européennes se chiffrant en millions d'individus et ne sont actuellement pas considérées comme menacées.

La fréquentation avifaunistique du parc éolien n'a pas fait l'objet de passages spécifiques en 2019.

5.2 IMPACT INDIRECT DES ÉOLIENNES SUR LA FRÉQUENTATION DES HABITATS PAR LES CHIROPTÈRES ET LES OISEAUX

5.2.1 CHAUVES-SOURIS

Jusqu'à récemment, il y avait peu d'informations publiées sur l'impact des parcs éoliens en exploitation sur l'habitat des chauves-souris, si ce n'est à des échelles territoriales assez larges (Roscioni et al., 2014). Toutefois, Bach (2001) avait mis en évidence une diminution du nombre de sérotines communes chassant sur une zone bocagère après la mise en fonctionnement des éoliennes mais aussi une habituation pour les pipistrelles (Bach, 2002 in Million et al., 2015).

Néanmoins, des travaux de recherche récents ont été menés sur ce sujet au niveau d'un parc éolien de 30 éoliennes situé dans la Marne (51) sur la commune de Germinon et sur un site agricole de référence situé à 35 km plus au nord (Millon et al., 2015). Les auteurs ont ainsi montré qu'il y avait significativement moins d'activité des chauves-souris dans les zones de grandes cultures avec des éoliennes. Enfin, la présence ou non de gîtes dans les environs ne pouvait être testée ; ce qui peut éventuellement limiter la portée des résultats. Les auteurs ont aussi émis l'hypothèse que la relative désertion des parcs par certaines espèces n'empêchait pas les phénomènes d'attraction des turbines en elles-mêmes par d'autres. Ils ont par ailleurs montré l'effet positif des haies et des bandes enherbées sur le groupe des pipistrelles et celui des sérotines/noctules, ainsi qu'un effet positif des jachères sur le groupe oreillard/murins. Cependant, ces résultats n'étaient pas valides sur l'ensemble des saisons, voire étaient contradictoires.

Dans une thèse du Museum National d'Histoire Naturelle, Barré (2017) a mis en évidence des changements dans la fréquentation par les chiroptères sur un rayon atteignant un kilomètre autour du parc éolien. Ces changements augmentent au fur et à mesure que l'on s'approche des machines avec un phénomène de désertion avéré mais non expliqué qui concerne la quasi-totalité des espèces de chiroptères. Ces résultats, obtenus en Bretagne, sont néanmoins à prendre en compte en ayant bien en tête les éléments suivants :

- **l'échantillonnage était relativement faible** : 23 nuits d'écoute sur 29 parcs situés en Bretagne entre septembre et octobre 2016 avec la pose d'en moyenne 9 enregistreurs par nuit le long de haies ;
- **le travail n'a porté que sur une seule saison en transit postnuptiale**, pourtant la variabilité saisonnière des données est un phénomène déterminant dans les études acoustiques de chiroptères ;
- **une identification automatique des espèces ou groupes d'espèces a été pratiquée** (logiciel TADARIDA du MNHN), ce qui pose des problèmes de choix méthodologiques par exemple sur le seuil à partir duquel la donnée est jugée fiable et la quantité de données in fine utilisables. La prise en compte des différences de détectabilité (Barataud, 2015) entre les espèces ne semble pas avoir été réalisée ;
- **diverses covariables n'était pas précisées** : les informations sur l'état des haies, les conditions météorologiques, l'éclairage, proximité ou éloignement des gîtes, type de machine et ses caractéristiques (bruit, cut-in-speed, synchrone ou asynchrone, garde au sol...) sont manquantes et n'ont pas fait l'objet de tests spécifiques. Les particularités de l'étude sont donc multiples et une transposition à tout autre cas est très délicate.

Rappelons en particulier que les parcs sont implantés à distance des habitations où se situent de nombreux gîtes pour plusieurs espèces (pipistrelles, oreillards, murins, etc.), et que la prise en compte de ce facteur n'est pas expliquée.

Ainsi, les conclusions sur l'aversion des chiroptères pour les parcs éoliens sont encore difficiles à interpréter même si des aspects comme le bruit pourraient apporter des explications. Par ailleurs, cette aversion pour certaines espèces doit coexister avec les phénomènes d'attraction mieux connus pour les pipistrelles ou les noctules/sérotines qui génèrent les risques de collision. Enfin, l'impact réel de l'aversion est à relativiser en fonction de la quantité de territoires de chasse ou de corridors disponibles dans un rayon de quelques kilomètres autour des gîtes.

Cet impact sur les territoires de chasse, qui n'est que pour le moment potentiel du fait de la présence avérée de chiroptères au droit des éoliennes selon les résultats du suivi 2019, est à prendre en compte dans le cadre des mesures pour limiter la perturbation produite notamment par l'éclairage nocturne.

5.2.2 OISEAUX

Le suivi de la fréquentation avifaunistique du parc éolien n'a pas été effectué en 2019. La perturbation des habitats à proximité des éoliennes n'a donc pas pu être analysée.

5.3 ÉLÉMENTS DE COMPARAISON AVEC L'ÉTUDE D'IMPACT (ECOSPHERE, 2012)

5.3.1 CHAUVES-SOURIS

Selon les conclusions de l'étude d'impact de 2012 (Ecosphère), il ressort que les éoliennes projetées présentaient un **risque fort** pour la Noctule de Leisler (gîte potentiel) et assez fort pour la Noctule commune et la Pipistrelle de Nathusius en période de reproduction. Un impact était attendu en raison d'une **distance insuffisante entre les machines et les haies / lisières arborées (environ 100 m)** où gîte la Noctule de Leisler et où circulent ces animaux. **L'impact pouvait être marqué pour les espèces migratrices de haut vol en période de migration**, et tout particulièrement la **Pipistrelle de Nathusius** et les **Noctules de Leisler et commune** pour lesquelles un risque local fort et assez fort a pu être établi étant donné leur régularité sur le site et le nombre de collision connue en Europe.

Concernant la perte de territoire de chasse et de voies de déplacement, le risque était modéré car il était prévu que les éoliennes empiètent ou se trouvent proche de plusieurs continuités écologiques. Les niveaux d'impacts sur les chiroptères atteignent un niveau assez fort dans le secteur nord (éoliennes E1 à E4) par rapport aux enjeux chiroptérologiques, en particulier vis-à-vis de la Noctule de Leisler (gîte à proximité de l'éolienne E2).

5.3.2 OISEAUX

L'étude d'impact de 2011-12 (Ecosphère) a permis de montrer que les caractéristiques du parc sont en particulier une distance inter-éolienne supérieure à 300 m, les turbines sont implantées au sein des cultures, ce qui est de nature à minimiser le risque de collision avec les oiseaux. Les observations des espèces migratrices lors de nos prospections ont permis de constater qu'elles passaient de façon diffuse sur l'ensemble du site et non pas le long d'un axe particulier au sein du site d'implantation. Cependant les machines sont situées à une distance relativement faible par rapport aux lisières (de 65 à 115 mètres) et orientées presque perpendiculairement à l'axe migratoire SW-NE, ce qui augmente le risque pour certaines espèces migratrices.

Les impacts les plus importants pour les oiseaux concernaient un **risque de collision de niveau moyen (Buse variable, Faucon crécerelle, Milans noir et royal)**.

6. MESURES DE RÉDUCTION DES RISQUES DE COLLISION

Pour rappel, l'article L110-1 (principes généraux du Code de l'Environnement) définit que :

- ✓ Le principe de précaution et ses incertitudes ne doivent pas empêcher la mise en place de mesures proportionnées à un coût économiquement acceptable ;
- ✓ Le principe d'action préventive et de correction à la source des atteintes à l'environnement prévoit l'utilisation des meilleures techniques disponibles à un coût économiquement acceptable et la mise en place de mesures Éviter-Réduire-Compenser (ERC).

6.1 PROTECTION DES CHAUVES-SOURIS FRÉQUENTANT LE PARC PAR UN BRIDAGE NOCTURNE DIFFÉRENCIÉ

6.1.1 RAPPEL DE LA NOTE SUR LE PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES DE COLLISION DES CHIROPTÈRES (21 JUIN 2017)

A la demande de la DREAL, une note a été produite en 2017 par Ecosphère pour préciser le calendrier et les modalités de mise en œuvre des mesures et suivis dans les premières années de fonctionnement du parc. Celles-ci étaient basées sur les résultats d'inventaires effectués par Écosphère en 2011 dans le cadre de l'étude d'impact écologique du projet, datant de septembre 2012 (*Communes de Vatan, Reboursin et Meunet-sur-Vatan (36) - projet d'implantation d'éoliennes - étude d'impact écologique, Septembre 2012, Écosphère - F. le Bloch & al, 173 p.*). Elles avaient vocation à répondre aux exigences de l'arrêté ICPE datant du 18 novembre 2014 et au protocole de suivi des parcs éolien terrestres datant de 2015.

Du fait de la fréquentation globalement élevée de trois espèces d'indice de vulnérabilité¹¹ 3,5 (**Noctules de Leisler et commune, et Pipistrelle de Nathusius**) et d'une quatrième espèce d'indice 3 (**Pipistrelle commune**), notamment en août et septembre, le risque d'impact de collision était considéré comme fort.

De plus, un suivi acoustique en altitude sur mât de mesure, réalisé la même année, dans le même département (sur la commune de Saint-Civran), également pour Neoen, a montré que plus de 80 % de l'activité chiroptérologique (toutes espèces confondues) était enregistrée pour des vitesses moyennes de vent inférieures à 6 m/s et sur une plage horaire de 6 h après le coucher du soleil.

Sur la base de ces éléments et des échanges avec la DREAL, il a été par conséquent proposé, dans un premier temps, le bridage suivant, favorable aux chiroptères, **dès la mise en service** du parc éolien :

- pour les deux éoliennes **E1 et E3** : un arrêt programmé des machines de **début août à fin octobre** à des **vitesse de vent inférieures à 6 m/s** et sur **3 heures** dès le coucher du soleil ;
- pour les deux éoliennes **E2 et E4**, plus proches d'éléments arborés et boisés du paysage : un arrêt programmé des machines plus important, de **début août à fin octobre** à des **vitesse de vent inférieures à 6 m/s** et sur **6 heures** dès le coucher du soleil.

6.1.2 PRINCIPE GÉNÉRAL DU BRIDAGE NOCTURNE

Le moyen technique le plus communément utilisé par les exploitants pour brider les éoliennes est la **mise en drapeau des pales (« blade feathering »)** : les pales peuvent pivoter sur leur axe de rotation pour ne plus avoir de prise au vent (90°) et ainsi s'arrêter en moins d'une minute en général. **Le bridage a pour objectif de réduire les risques de collision, tout en maintenant l'éolienne active, en augmentant le seuil de vent (« cut-in speed ») à partir duquel elle commence à produire.** L'unité élémentaire retenue est 0,5 m/s de vitesse moyenne sur 10 min, car cela suffit pour avoir un impact notable sur la production sur une période de plusieurs mois.

Dans le tableau ci-dessous, est indiqué le pourcentage d'activité globale enregistrée lors des suivis acoustiques qui serait à protéger par le bridage selon les niveaux de risque évalués mois par mois.

Tableau 17 – Proportions d'activité globale en fonction du niveau d'impact avéré ou risque d'impact déclinées par mois et éolienne

Niveau d'impact global retenu pour l'évaluation	Négligeable	Faible	Moyen	Assez fort	Fort	Très fort
Type de mesure	Pas d'obligation de mesure de régulation	Réduction pour protection de la biodiversité ordinaire	Réduction	Réduction	Réduction	Quasi évitement
% contacts à protéger	N/A	50-70	70-80	80-90	90-95	95-100

Pour l'éolienne suivie E2, les pourcentages d'activités ont été calculés en fonction des vitesses moyennes de vent et des plages horaires. Les paramètres retenus devront ainsi être appliqués à toutes les éoliennes de ce parc.

6.1.3 RÉPARTITION DE L'ACTIVITÉ SELON L'HEURE DE LA NUIT

Le tableau ci-dessous présente les pourcentages cumulés d'activité par mois et au total sur l'ensemble de la période du suivi en fonction de l'heure de la nuit. Il montre que près de 95 % de l'activité globale sur l'ensemble du suivi a été enregistrée entre 30 min avant le coucher du soleil jusqu' à 7h30 après en août, et 8h30 en septembre et 6h30 en octobre.

¹¹ Selon le protocole national de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres (2015).

Tableau 18 - Pourcentages d'activité en fonction de l'heure après le coucher du soleil pour toute la période du suivi

Heure	août	Septembre	octobre	Total
-30 min à +30 min	0,00	0,49	9,07	1,89
+30 min à +1h30	11,26	8,37	50,22	18,09
+1h30 à 2h30	45,44	22,17	90,71	48,15
+2h30 à 3h30	63,36	39,41	92,48	62,75
+3h30 à 4h30	73,59	43,35	92,70	69,38
+4h30 à 5h30	80,65	44,66	93,58	73,73
+5h30 à 6h30	88,90	69,79	95,13	85,10
+6h30 à 7h30	94,85	92,28	95,80	94,36
+7h30 à 8h30	98,41	94,25	96,02	96,86
+8h30 à 9h30	99,37	99,01	98,67	99,14
+9h30 à 10h30	100,00	99,18	98,67	99,53
+10h30 à 11h30	100,00	100,00	98,67	99,74
+11h30 à 12h30	100,00	100,00	100,00	100,00

6.1.4 DISTRIBUTION DE L'ACTIVITÉ SELON LES VITESSES DE VENT

Les **contacts de chauves-souris ont été associés aux vitesses moyennes de vent** mesurées sur la nacelle de l'éolienne 2, à la même hauteur que le micro ultrasonique. Le graphique ci-dessous illustre la répartition des contacts selon la distribution des plages de vent par palier de 0,5 m/s.

95 % des contacts ont été enregistrés pour des moyennes de vent inférieures à 7 m/s. **Aucune chauve-souris n'a été notée au-dessus de 9,5 m/s de début août à mi-octobre 2019.**

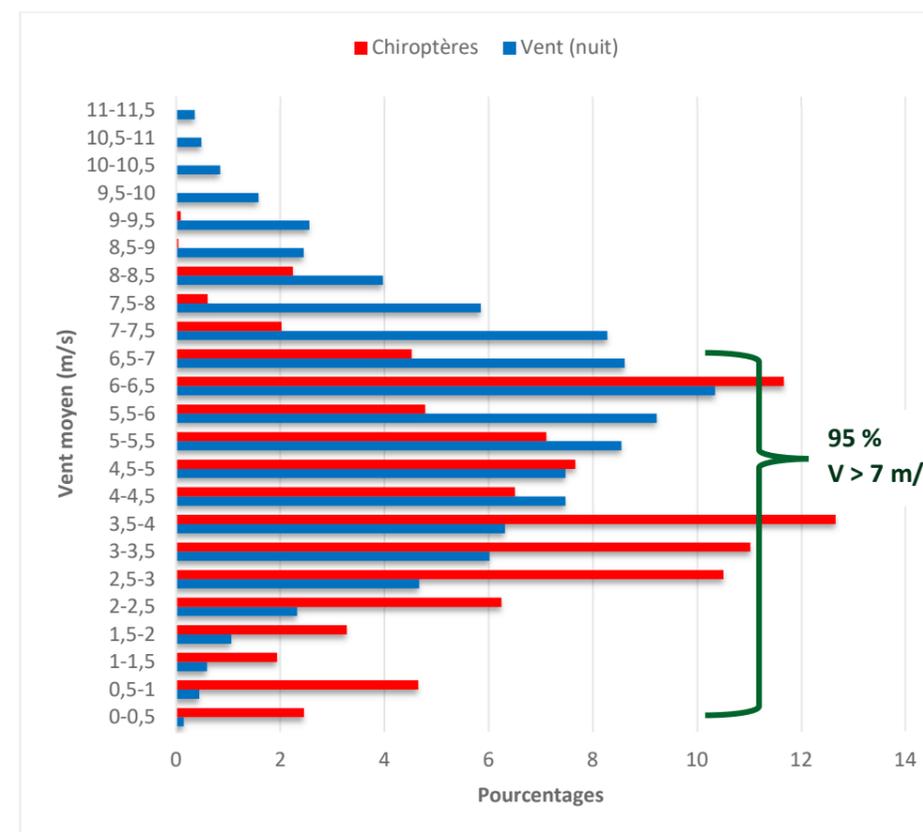


Figure 8 : Répartition automnale des contacts de chauves-souris selon les vitesses moyennes de vent à hauteur de nacelle

6.1.5 DISTRIBUTION DE L'ACTIVITÉ SELON LA TEMPÉRATURE

Les **contacts de chauves-souris ont été associés aux températures** mesurées sur la nacelle de l'éolienne 2, à la même hauteur que le micro ultrasonique. Le graphique ci-dessous illustre la répartition des contacts selon la distribution des plages de température par palier de 1°C.

La totalité (100 %) des contacts ont été enregistrés pour des températures supérieures à 12°C sur la période du suivi en 2019, dont 95 % supérieures à 16°C.

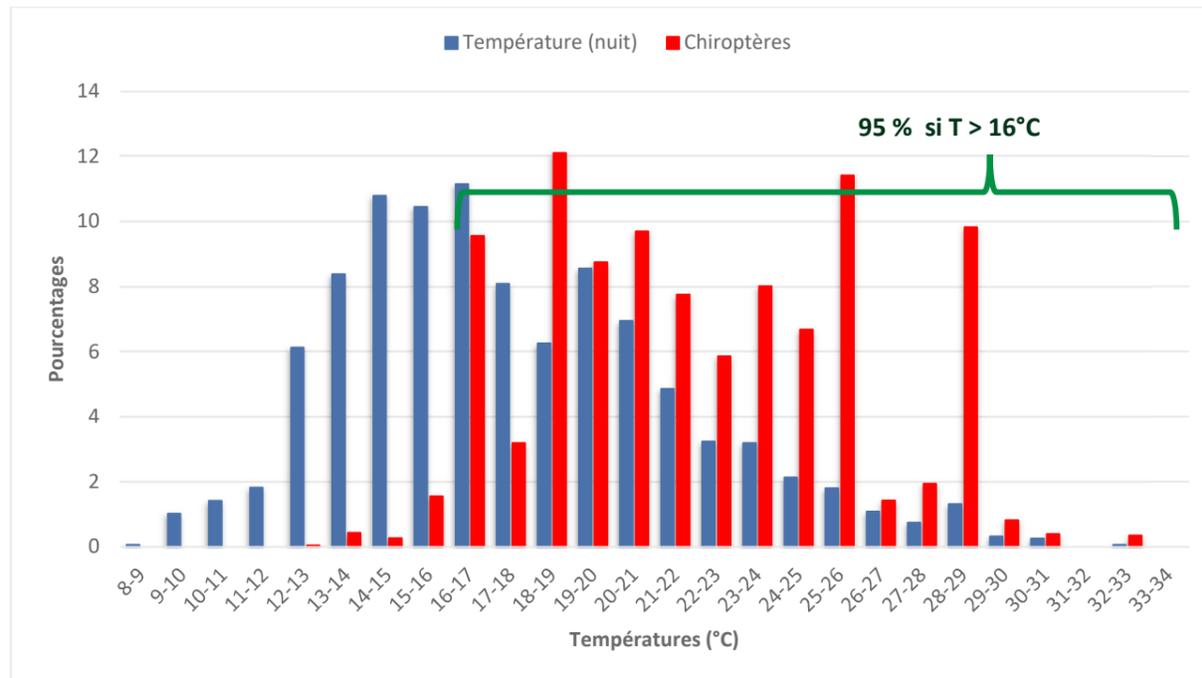


Figure 9 : Répartition automnale des contacts de chauves-souris selon la température à hauteur de nacelle

Les valeurs précises par mois ont été calculées afin d'établir les préconisations d'algorithme de bridage différencié par mois récapitulé dans le tableau ci-après.

6.1.6 RÉCAPITULATIF DE L'ALGORITHME DE BRIDAGE

Le tableau ci-dessous récapitule pour chaque mois les paramètres révisés de bridage à mettre en œuvre dès août 2020. Les trois paramètres que sont la plage horaire, la vitesse de vent et la température à hauteur de nacelle doivent être considérés de manière combinés pour que le bridage s'applique.

Août étant le mois le plus à risque, il est préconisé de brider toute la nuit afin de couvrir les flux de retours aux gîtes en cette période forts mouvements. L'absence apparente de cadavres en octobre 2019 laisse envisager une réduction mesurée du seuil de vent (6 m/s) et de la plage horaire (7h30 après le coucher du soleil).

Étant donné que le suivi 2019 ne couvre pas les mois d'avril à juillet, aucune préconisation n'est donnée ; si ce n'est *a minima* une mise en drapeau des pales pour des valeurs de vent inférieure à la « cut-in speed », soit 3 m/s, afin d'éviter les collisions générées par les accélérations de rotation en quelques dizaines de secondes la nuit.

Tableau 19 – Algorithmes de bridage par tranches et mois de l'année
(niveau d'impact : gris : négligeable/faible (= non significatif) ; jaune = moyen ; orange = assez fort ; rouge = fort ; marron = très fort)

	Bridage préconisé dès 2020
Janvier	Aucun bridage
Février	Aucun bridage
Mars	Aucun bridage
Avril	À vérifier par un suivi
Mai	À vérifier par un suivi
Juin	À vérifier par un suivi
Juillet	À vérifier par un suivi
Août	≤ 6,5 m/s 30 min avant coucher jusqu'à 7h30 après >19°C
Septembre	≤ 6,5 m/s 30 min avant coucher jusqu'à 7h30 après >18°C
Octobre	≤ 6 m/s 30 min avant coucher jusqu'à 3h30 après >15°C
Novembre	Aucun bridage
Décembre	Aucun bridage

En cas de précipitations continues dans le temps pour une durée supérieure à 15 min et marquées en intensité (>5 mm/h soit 0,83 mm sur 10 min en moyenne), les mesures de bridage pourraient être levées quels que soient les autres paramètres étant donné que les chauves-souris sont généralement très peu actives dans ces conditions.

Enfin, ces bridages nocturnes bénéficieront indirectement aux oiseaux migrateurs de nuit (passereaux, canards...).

6.1.7 BRIDAGE DES AUTRES ÉOLIENNES

Étant la mortalité supérieure constatée pour les deux éoliennes bridées moins longtemps en 2019 (E1 et E3), il est dorénavant proposé de brider l'ensemble des 4 éoliennes de manière homogène.

6.2 CONTRÔLE DE L'ÉCLAIRAGE NOCTURNE

Chaque éolienne est équipée d'une lampe halogène blanche au niveau de sa porte d'accès, laquelle se déclenche grâce à un détecteur de mouvement pour permettre la montée des escaliers en sécurité de nuit. **La durée pendant laquelle la lampe reste allumée ne devrait pas dépasser les deux minutes afin de limiter les risques de pollution lumineuse.** En effet, en premier lieu les pipistrelles sont connues pour chasser les insectes volants se réunissant autour des halos lumineux, d'où des risques de collisions et de mortalité augmentés. D'autres espèces au contraire sont davantage lucifuges et évitent les points lumineux (murins, Barbastelle, oreillards...), ce qui crée un dérangement de ces espèces avec un risque de désertion de la zone.

6.3 GESTION DES HABITATS AUTOUR DES ÉOLIENNES

Les friches herbacées aux abords de la plateforme des éoliennes constituent des habitats privilégiés par les chauves-souris et le Faucon crécerelle, pour la chasse alimentaire en particulier. **Afin de limiter leur attractivité, il est recommandé de les maintenir à ras le plus longtemps possible tout au long de la saison active (mars à octobre en général).** Moins la végétation herbacée se développera, moins les invertébrés (papillons, mouches, araignées...) auront la possibilité de proliférer et donc d'attirer leurs prédateurs que sont les chiroptères. Une convention avec le propriétaire ou l'agriculteur exploitant des parcelles pourra permettre de mettre en œuvre cette mesure.

7. MESURES DE SUIVI

Au vu des risques de collision pour les chauves-souris en août à septembre mis en évidence par ce suivi 2019 (acoustique en altitude et mortalité au sol), il est recommandé de réaliser un nouveau suivi de mortalité afin d'évaluer l'efficacité du nouveau bridage nocturne différencié préconisé.

Compte tenu d'un taux de persistance des cadavres assez faible noté lors de ce premier suivi (50 % de persistance dans un intervalle de 3 jours) et afin de pouvoir comparer avec les résultats du suivi de 2019, il semble pertinent d'appliquer le même protocole en août et septembre (2 passages tous les 7 jours).

Par ailleurs, des passages complémentaires pourront couvrir les mois manquants pour se rapprocher des recommandations du protocole national 2018 (semaine 20 à semaine 30), à raison d'au moins 1 passage tous les 7 jours.

À la suite de ce suivi de mortalité plus approfondi, si des espèces considérées comme sensibles venaient à être impactées par les éoliennes (collision), un suivi de la fréquentation avifaunistique du parc éolien à la saison suivante permettra d'identifier les comportements à risque selon les habitats environnants chacune des 4 éoliennes et la période de l'année (nidification et migration).

8. BIBLIOGRAPHIE

ALERSTAM T. 1990. *Bird Migration*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

AHLEN et al., 2007. *Bats and offshore wind turbines studied in southern Scandinavia*. Report 5571, July 2007. Swedish Environmental Protection Agency. Bromma, Sweden. 37 p.

ARNETT B., SCHIRMACHER M., HUSO M. & HAYES J., 2009. Effectiveness of changing wind turbine cut-in speed to reduce bat fatalities at wind facilities – Bats and Wind Energy Cooperative, 44p.

ARNETT, E., JOHNSON G., ERICKSON W. & HEIN C. – 2013 - A synthesis of operational mitigation studies to reduce bat fatalities at wind energy facilities in North America. A report submitted to the National Renewable Energy Laboratory. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. 38 p.

ARTHUR L. & LEMAIRE M., 2015. *Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse*. Collection Parthénope, éditions Biotope, Mèze. MNHN, Paris, 2^{ème} éd. 544 p.

AULAGNIER S., HAFFNER P., MITCHELL-JONES A. J., MOUTOU F. & ZIMA J., 2008. *Guide des mammifères d'Europe, d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient*. Delachaux & Niestlé, Paris, 272 p.

BAERWALD E.-F., D'AMOURS G.-H., KLUG B.-J. & BARCLAY R.M.R. 2008. *Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines*. *Current Biology* 18(16) : 695-696.

BARATAUD M. 2015. *Écologie acoustique des chiroptères d'Europe, identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse*. Biotope, Mèze; MNHN, Paris, 344 p.

BARRIOS L. & RODRIGUES A. 2004. *Behavioral and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines*. *Journal of Applied Ecology* 41, 72-81.

BEHR O., BRINKMANN R. & KORNER-NIEVERGELT F., 2011. – Akustische Erfassung des Fledermausaktivität an Winderngieanlagen. Dans : *Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen*. Göttingen : Umwelt und Raum Bd, p. 40-115.

BERNARDINO J., BISPO R., COSTA H. & MASCARENHAS M. 2013. *Estimating bird and bat fatality at wind farms: a practical overview of estimators, their assumptions and limitations*. *New Zealand Journal of Zoology*. Volume 40, Issue 1. pages 63-74.

BEVANGER K. et al. 2010. *Pre- and post-construction studies of conflicts between birds and wind turbines in coastal Norway (Bird-Wind)*. *Report on findings 2007-2010*. NINA Report 620.

BEUCHER Y., KELM V., ALBESPY F., GEYELIN M., NAZON L. & PICK D. 2013. *Parc éolien de Castelnau-Pégayrols (12). Suivi pluri annuel des impacts sur les chauves-souris*. Bilan des campagnes des 2ème, 3ème et 4ème années d'exploitation (2009-2011). 111p.

BIRDLIFE, 2004. *Birds in Europe. Population Estimates, Trends and Conservation Status*. BirdLife International, 374 p.

BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2015. Detailed regional assessment and species account from the European Red List of Birds. [on line : <http://www.birdlife.org/datazone/species/>]

BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2015. *European Red List of Birds*. Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities.

BROWN R., FERGUSON J., LAWRENCE M., LEES D. & CUISIN M., 1989. *Reconnaître les plumes, les traces et les indices des oiseaux*. Bordas, Paris, 232 p.

CADE T.J. 1994. *Industry research : kenetech windpower*. In : proceeding of the national avian-wind power planning meeting, Denver, Colorado, July 1994. 179 p.

CARL G., THELANDER C.G. & RUGGES D.L. 2001. *Examining relationships between bird risk behaviours and fatalities at the altamont wind resource area : a second year's progress report*. In : proceeding of the national avian-wind power planning meeting, Carmel, California : 5-14.

CONSEIL DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES - 1979 - Directive 79/409/CEE du 2 avril 1979 concernant la conservation des Oiseaux sauvages (Directive "Oiseaux"). *Journal Officiel des Communautés européennes* du 25 avril 1979.

CONSEIL DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES - 1992 - Directive 92/43/CEE du Conseil du 21 mai 1992 concernant la conservation des Habitats naturels ainsi que de la Faune et de la Flore sauvages. *Journal Officiel des Communautés européennes* N° L 206/7 du 22 juillet 1992.

DIETZ & VON HELVERSEN. 2004. Clé d'identification illustrée des chauves-souris d'Europe.

DIETZ C., VON HELVERSEN O. & NILL D., 2009. *L'encyclopédie des chauves-souris d'Europe et d'Afrique du Nord*. Delachaux & Niestlé, Paris, 400 p.

DUBOIS Ph.-J., LE MARECHAL P., OLIOSSO G. & YESOU P., 2008. *Nouvel inventaire des oiseaux de France*. Delachaux et Niestlé, Paris, 558 p.

DÜRR T., 2001. Flermäuse als Opfer von Windkraftanlagen – Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 10, 182.

DÜRR T., 2002. Eoliennes et Chauves-souris. *Nyctalus*, n°8 2002, cahier 2, p 115-118.

DÜRR T. 2017. *Fledermausverluste an Windenergieanlagen / bat fatalities at windturbines in Europe*. Daten aus der zentralen Fundkartei der Staatlichen Vogelschutzwarte im Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg. NABU. Situation au 9 février 2017.

DÜRR T. 2017. *Vogelverluste an Windenergieanlagen / bird fatalities at windturbines in Europe*. Daten aus der zentralen Fundkartei der Staatlichen Vogelschutzwarte im Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg. NABU. Situation au 9 février 2017.

ECOSPHERE, 2012. *Projet d'implantation d'un parc éolien à Vatan (36) : Etude d'impact écologique 2012*. Ecosphère, Saint-Maur-des-Fossés, France. 172p.

ECOSPHERE. 2013. *Impact de l'activité éolienne sur les populations de chiroptères : enjeux et solutions*. Rapport de stage de L. Jung et document interne actualisé.

ÉCOSPHÈRE. 2017. Liste des Oiseaux nicheurs de la région Centre-Val de Loire et statut de rareté - *Document interne actualisé*.

ÉCOSPHÈRE. 2017. Liste des Mammifères de la région Centre-Val de Loire et statut de rareté - *Document interne actualisé*.

EDKINS, 2014. Impact of wind energy development on birds and bats : looking into the problem. Prepared for FPL Energy. 45 p. https://www.researchgate.net/publication/238723871_IMPACTS_OF_WIND_ENERGY_DEVELOPMENTS_ON_BIRDS_AND_BATS_LOOKING_IN_TO_THE_PROBLEM

ERICKSON W. P. et al. 2001. *Avian collision with wind turbines : a summary of existing studies and comparisons to other sources of avian collision mortality in the United states*. National Wind Coordinating Committee.

FAUNA HELVETICA. 2011. Mammifères de Suisse : clés de détermination : clé morphologique et clé des crânes de chiroptères.

FIERS, V., GAUVRIT, B., GAVAZZI, E., HAFFNER, P. & MAURIN, H. 1997 - *Statut de la faune de France métropolitaine : statuts de protection, degrés de menace, statuts biologiques*. M.N.H.N. / I.E.G.B.- Service du Patrimoine Naturel / R.N.F. / Ministère de l'Environnement. Paris : 225 pp.

HAGEMEIJER W. J. & BLAIR M. J. (coord.), 1997. *The EBCC Atlas of European Breeding Birds. Their distribution and abundance*. Poyser, London, 920 p.

HAQUART A. et al., 2012. *Suivi annuel continu de l'activité des chiroptères sur 10 mats de mesure : évaluation des facteurs de risque lié à l'éolien*. Biotope, Bourges. 54p.

HEDENSTRÖM A. & RYDELL J. 2012. *Effect of wind turbine mortality on noctula bats in Sweden : predictions from a simple population model*. Biology Department Lund University, Sweden. 11p.

HÖTKER H., THOMSEN K.-N. & KOSTER H., 2004. *Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse – Fakten, Wissenslücken, Anforderungen an die Forschung, ornithologische Kriterien zum Ausbau von regenerativen Energiegewinnungsformen*. NABU, 80 p.

HÖTKER H. et al. 2006. *Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources : the example of birds and bats – facts, gaps in knowledge, demands for further research, and ornithological guidelines for the development of renewable energy exploitation*. Michael-Otto-Institut im NABU, Bergenhusen.

JOIRIS E. 2012. *High altitude bat monitoring*. Preliminary results Hainaut & Ardennes. CSD Ingenieurs. 69p.

KERNS J. & KERLINGER P., 2004. A study of bird and bat collision fatalities at the mountaineer wind energy center, Tucker County, West Virginia : Annual report for 2003 – FPL Energy and Mountaineer Wind Energy Center Technical Review Committee, 39p.

LIMPENS H., BOONMAN M., KORNER-NIEVERGELT F., JANSEN E., VAN DER VALK M., LA HAYE M., DIRKSEN S. & VREUGDENHIL S., 2013. – Wind turbines and bats in the Netherlands - Measuring and predicting. Report 2013.12, Zoogdierverseniging & Bureau Waardenburg

MAMMEN U. K. et al. 2009. *Interactions of Red Kites and wind farms : results of radio telemetry and field observations*. *Birds of Prey and Wind Farms : Analysis of problems and possible solutions*. Documentation of an international workshop in Berlin 21-22 oct 2008. (H. Hötker, red) s. 14-21. NABU, Berlin.

MARCHAIS G., 2011. *Projet d'implantation d'un parc éolien sur les communes de Saint-Civran, Chazelet et Sacierges-Saint-Martin. Rapport sur le suivi de l'activité chiroptérologique en hauteur (avril – octobre 2011)*. Ecosphère, Saint-Maur-des-Fossés, France. 49p.

MNHN & UICN, 2008. *Liste rouge des oiseaux nicheurs de France métropolitaine*. Paris, 14 p.

PERTHUIS A., 2002. *L'avifaune de la région Centre-Val de Loire : synopsis des connaissances*. *Recherches Naturalistes en Région Centre-Val de Loire*, 11 : 17-30.

PRATZ, 2012. Note relative à la réalisation et au financement des suivis réglementaires de mortalité des parcs éoliens de la région Centre-Val de Loire.

QUAINTENNE G., BROSSAULT P., 2013. Les oiseaux nicheurs rares et menacés en France en 2012. Ornithos 20-6. LPO.

RAMEAU, J.C., MANSION, D. & DUME, G., 1989. Flore Forestière Française ; guide écologique illustré ; vol.1 : plaines et collines. IDF, DERF et ENGREF - Dijon, 1785 pp.

RASRAM L, et al. 2009. Effect of wind farms on population trend and breeding success of Red Kites and other birds of prey. *Birds of prey and Wind farms : Analysis of problems and possible solutions.* Documentation of an international workshop in Berlin 21-22 oct 2008. (H. Hötker, red) s. 22-25. NABU, Berlin.

ROCAMORA, G. & YEATMAN-BERTHELOT, D. – 1999 – Oiseaux menacés et à surveiller en France. Listes rouges et recherche de priorités. Populations. Tendances. Menaces. Conservation. Société d'Etudes Ornithologiques de France / Ligue pour la Protection des Oiseaux. Paris : 560 p.

RODRIGUES L., BACH L., DUBOURG-SAVAGE M.-J., GOODWIN J. & HARBUSCH C., 2008. Lignes directrices pour la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens. EUROBATS Publication Series No. 3 (version française). PNUE/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany, 55 pp.

RODRIGUES L. et al. 2015. Guidelines for consideration of bats in wind farm projects. EUROBATS Publication series n°6. Revision 2014. PNUE/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany, 133 pp.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE POUR L'ETUDE ET LA PROTECTION DES MAMMIFÈRES (S.F.E.P.M.) - 1984 - Atlas des Mammifères sauvages de France - Société Française pour l'Etude et la Protection des Mammifères, 229 pp.

THELANDER C.G. & RUGGES D.L. 2001. Examining Relationships between Bird Risk Behaviours and Fatalities at the Altamont Wind Resource Area : a Second Year's Progress. Report. In : PNAWPPM IV, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting IV, Carmel, California, May 2001 : 5-14.

THIOLLAY J.-M. & BRETAGNOLLE V., 2004. Rapaces nicheurs de France, Distribution, effectifs et conservation, Delachaux et Niestlé, Paris. 176p.

YEATMAN-BERTHELOT, D. & JARRY, G., 1994. *Nouvel Atlas des Oiseaux nicheurs de France, 1985-1989.* Société Ornithologique de France, Paris 776 p.

WINKELMAN, J.E. 1985. Impact of medium-sized wind turbines on birds : a survey on flight behaviour, victims and disturbance. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 33 : 75-78.

ZUCCA M. 2015. *La migration des oiseaux : comprendre les voyageurs du ciel.* Guide Nature. Editions Sud-Ouest. Mai 2015. 352p.

ANNEXE 1 : DATES DE PROSPECTION DU SUIVI DE MORTALITÉ

Date	Tache	Intervenant	Conditions météorologiques
20/08/2019	Suivi de mortalité	Léa BOUTAULT	18 à 26°C, vent faible, ciel voilé
23/08/2019	Suivi de mortalité	Léa BOUTAULT	28°C, vent moyen, ensoleillé
27/08/2019	Suivi de mortalité Test de persistance	Léa BOUTAULT	28 à 33°C, vent moyen, couvert
28/08/2019	Test de persistance (J+1)	Léa BOUTAULT	17°C, vent faible, ciel voilé
30/08/2019	Suivi de mortalité Test de persistance (J+3)	Léa BOUTAULT	18 à 25°C, vent faible, ensoleillé
03/09/2019	Suivi de mortalité Test de persistance (J+7)	Léa BOUTAULT	15 à 25°C, vent faible, ensoleillé
06/09/2019	Suivi de mortalité Test de persistance (J+10)	Léa BOUTAULT	19°C, vent moyen, ensoleillé
10/09/2019	Suivi de mortalité Test de persistance (J+14)	Léa BOUTAULT	12°C, vent faible, ensoleillé
13/09/2019	Suivi de mortalité Test observateur	Léa BOUTAULT, Guillaume MARCHAIS	26 à 32°C, vent faible, ensoleillé
17/09/2019	Suivi de mortalité	Maxime COLLET	23 à 30°C, vent moyen, ensoleillé
20/09/2019	Suivi de mortalité	Léa BOUTAULT	15 à 22°C, vent moyen, ensoleillé
24/09/2019	Suivi de mortalité	Léa BOUTAULT	17°C, vent moyen, nuageux / pluie
27/09/2019	Suivi de mortalité	Léa BOUTAULT	17°C, vent moyen à fort, nuageux / pluie
01/10/2019	Suivi de mortalité	Léa BOUTAULT	18°C, vent fort, couvert
04/10/2019	Suivi de mortalité	Léa BOUTAULT	13°C, vent moyen, couvert
08/10/2019	Suivi de mortalité	Léa BOUTAULT	21°C, vent fort, nuageux
11/10/2019	Suivi de mortalité	Léa BOUTAULT	20°C, vent moyen, ensoleillé

ANNEXE 2 : OCCUPATION DU SOL ET DÉTAIL DES SURFACES PROSPECTÉES PAR ÉOLIENNE AU COURS DU SUIVI

Pour chaque éolienne, les surfaces prospectées ont été différenciées par classes de visibilité : **B** = Bonne ; **Moy** = Moyenne ; **Nulle**.

Les **intervalles** ont été définis à partir des modifications de ces classes de visibilité tout le long du suivi. Un changement de visibilité pour un type d'habitat sur au moins une éolienne est considéré comme un changement d'intervalle. Cette dénomination est seulement faite pour faciliter les calculs a posteriori de la surface moyenne prospectée sur l'ensemble du parc, elle n'a pas de lien avec la chronologie de la mortalité constatée.

➤ Données brutes

Intervalle	Date	Observateur	E1_B	E1_Moy	E1_Nulle	E2_B	E2_Moy	E2_Nulle	E3_B	E3_Moy	E3_Nulle	E4_B	E4_Moy	E4_Nulle
1	20/08/2019	Léa BOUTAULT	plateforme labour fin			plateforme blé fauché			plateforme blé fauché			plateforme	plateforme enrichée	culture (maïs) friche
	23/08/2019	Léa BOUTAULT	plateforme labour fin			plateforme blé fauché			plateforme blé fauché			plateforme	plateforme enrichée	culture (maïs) friche
	27/08/2019	Léa BOUTAULT	plateforme labour fin			plateforme blé fauché			plateforme blé fauché			plateforme	plateforme enrichée	culture (maïs) friche
	30/08/2019	Léa BOUTAULT	plateforme labour fin			plateforme blé fauché			plateforme blé fauché			plateforme	plateforme enrichée	culture (maïs) friche
	03/09/2019	Léa BOUTAULT	plateforme labour fin			plateforme blé fauché			plateforme blé fauché			plateforme	plateforme enrichée	culture (maïs) friche
	06/09/2019	Léa BOUTAULT	plateforme labour fin			plateforme blé fauché			plateforme blé fauché			plateforme	plateforme enrichée	culture (maïs) friche
	10/09/2019	Léa BOUTAULT	plateforme labour fin			plateforme blé fauché			plateforme blé fauché			plateforme	plateforme enrichée	culture (maïs) friche
	13/09/2019	Léa BOUTAULT	plateforme labour fin			plateforme blé fauché			plateforme blé fauché			plateforme	plateforme enrichée	culture (maïs) friche
	17/09/2019	Maxime COLLET	plateforme labour fin			plateforme blé fauché			plateforme blé fauché			plateforme	plateforme enrichée	culture (maïs) friche
	20/09/2019	Léa BOUTAULT	plateforme labour fin			plateforme blé fauché			plateforme blé fauché			plateforme	plateforme enrichée	culture (maïs) friche
	24/09/2019	Léa BOUTAULT	plateforme labour fin			plateforme blé fauché			plateforme blé fauché			plateforme	plateforme enrichée	culture (maïs) friche
	27/09/2019	Léa BOUTAULT	plateforme labour fin			plateforme blé fauché			plateforme blé fauché			plateforme	plateforme enrichée	culture (maïs) friche
	01/10/2019	Léa BOUTAULT	plateforme labour fin			plateforme blé fauché			plateforme blé fauché			plateforme	plateforme enrichée	culture (maïs) friche
	04/10/2019	Léa BOUTAULT	plateforme labour fin			plateforme blé fauché			plateforme blé fauché			plateforme	plateforme enrichée	culture (maïs) friche
08/10/2019	Léa BOUTAULT	plateforme labour fin			plateforme blé fauché			plateforme blé fauché			plateforme	plateforme enrichée	culture (maïs) friche	
2	11/10/2019	Léa BOUTAULT	plateforme labour fin (50%)		50 % épandage	plateforme blé fauché			plateforme blé fauché			plateforme	plateforme enrichée	culture (maïs) friche

➤ Tableau simplifié des surfaces correspondantes aux habitats prospectés

Intervalle	Nbr de passages	Surface (m ²)												% moyen de surface prospectée sur l'ensemble du parc :
		E1			E2			E3			E4			
		Prospectée (B + Moy)	Non prospectée (Nulle)	% prospecté	Prospectée (B + Moy)	Non prospectée (Nulle)	% prospecté	Prospectée (B + Moy)	Non prospectée (Nulle)	% prospecté	Prospectée (B + Moy)	Non prospectée (Nulle)	% prospecté	
1	15	9481	0	100%	9481	0	100%	9481	0	100%	1582	7899	17%	79%
2	1	4741	4741	50%	9481	0	100%	9481	0	100%	1582	7899	17%	67%
	Moyenne :			97%			100%			100%			17%	78%

ANNEXE 3 : SYNTHÈSE DES CADAVRES DÉCOUVERTS LORS DU SUIVI DE MORTALITÉ

Ordre	Nom vernaculaire	Nom scientifique	Age	Sexe	Date de découverte	Numéro éolienne	Distance au mât (m)	Coordonnées X_L93	Coordonnées Y_L93	Statut	Cause de la mortalité	Découvreur	Identificateur	Moyen d'identification	Contexte
CHIROPTERE	Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>	VOL	F	20/08/2019	E2	25	611239,507	6666519,96	Local	Collision	Léa Boutault	Manon Acqueberge	Biométrie - dentition sous loupe binoculaire	Suivi ICPE
CHIROPTERE	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	VOL	?	27/08/2019	E1	10	610966,22	6666675,95	Local	Collision	Léa Boutault	Manon Acqueberge	Biométrie - dentition sous loupe binoculaire	Suivi ICPE
CHIROPTERE	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	VOL	F	30/08/2019	E3	20	611488,97	6666373,77	Local	Collision	Léa Boutault	Manon Acqueberge	Biométrie - dentition sous loupe binoculaire	Suivi ICPE
OISEAU	Hirondelle de fenêtre	<i>Delichon urbicum</i>	1A	?	03/09/2019	E1	25	610937,2	6666679,43	Migrateur	Collision	Léa Boutault	Léa Boutault	Examen visuel	Suivi ICPE
CHIROPTERE	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	VOL	F	03/09/2019	E1	10	610972,488	6666684,3	Local	Collision	Léa Boutault	Manon Acqueberge	Biométrie - dentition sous loupe binoculaire	Suivi ICPE
CHIROPTERE	Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	VOL	M	03/09/2019	E2	41	611184,792	6666527,69	Migrateur	Collision	Léa Boutault	Manon Acqueberge	Biométrie - dentition sous loupe binoculaire	Suivi ICPE
OISEAU	Pouillot fitis	<i>Phylloscopus trochilus</i>	1A	?	10/09/2019	E1	31	610936,989	6666703,34	Migrateur	Collision	Léa Boutault	Maxime Collet	Examen visuel	Suivi ICPE
CHIROPTERE	Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	1A	F	13/09/2019	E3	38	611447,039	6666387,34	Migrateur	Collision	Léa Boutault	Sébastien Roué	Biométrie - dentition sous loupe binoculaire - patagium	Suivi ICPE
CHIROPTERE	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	VOL	F	13/09/2019	E1	64	610909,997	6666648,2	Local	Collision	Léa Boutault	Manon Acqueberge	Biométrie - dentition sous loupe binoculaire	Suivi ICPE
CHIROPTERE	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	VOL	F	17/09/2019	E3	19	611501,619	6666383,92	Local	Collision	Maxime Collet	Manon Acqueberge	Biométrie - dentition sous loupe binoculaire	Suivi ICPE
CHIROPTERE	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	VOL	F	17/09/2019	E3	39	611445,747	6666396,85	Local	Collision	Maxime Collet	Manon Acqueberge	Biométrie - dentition sous loupe binoculaire	Suivi ICPE
OISEAU	Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	VOL	?	17/09/2019	E3	45	611476,92	6666348,35	Migrateur	Collision	Maxime Collet	Léa Boutault	Examen visuel	Suivi ICPE
CHIROPTERE	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	VOL	?	17/09/2019	E1	20	610954,538	6666666,56	Local	Collision	Maxime Collet	Manon Acqueberge	Biométrie - dentition sous loupe binoculaire	Suivi ICPE
OISEAU	Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	+1A	M	20/09/2019	E3	44	611442,212	6666402,96	Migrateur	Collision	Léa Boutault	Léa Boutault	Examen visuel	Suivi ICPE
OISEAU	Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	VOL	F	20/09/2019	E3	50	611461,24	6666348,77	Migrateur	Collision	Léa Boutault	Léa Boutault	Examen visuel	Suivi ICPE
CHIROPTERE	Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	VOL	?	20/09/2019	E2	43	611188,21	6666515,21	Local	Collision	Léa Boutault	Manon Acqueberge	Biométrie - dentition sous loupe binoculaire	Suivi ICPE

*Age : 1A = 1^{ère} année ; +1A = plus d'un an ; VOL = volant, âge non identifiable

ANNEXE 4 : DÉTAIL DES ESTIMATIONS DE LA MORTALITÉ RÉELLE PAR ÉOLIENNE

Chiroptères	Période suivie (mi-août - mi-octobre)												Moyenne en tenant compte des 4 éoliennes (sous-estimée car E4 sous prospectée + 0 mortalité)	Moyenne pour E1, E2 E3 seulement (les 3 éoliennes prospectées à 100%)
	E1			E2			E3			E4				
Nb de cadavres bruts	4			3			4			0				
EolApp (test non-paramétrique)	Médiane	[IC 10 - 90%]		Médiane	[IC 10 - 90%]		Médiane	[IC 10 - 90%]		Médiane	[IC 10 - 90%]		Mortalité moyenne/éolienne	Mortalité moyenne/éolienne
<i>Erikson</i>	6,5	3,0	12,0	4,5	1,5	9,5	6,0	2,0	13,0	0,0	0,0	0,0	4,3	5,7
<i>Huso</i>	9,0	4,0	15,5	6,5	2,0	12,0	8,5	2,5	17,0	0,0	0,0	0,0	6,0	8,0
<i>Jones</i>	10,0	4,5	17,5	7,0	2,5	13,5	9,5	3,0	18,5	0,0	0,0	0,0	6,6	8,8
Moyenne Huso / Jones	9,5	4,0	17,5	6,8	2,0	13,5	9,0	2,5	18,5	0,0	0,0	0,0	6,3	8,4
Mortalité moyenne/an (+30%)	12,4	5,2	22,8	8,8	2,6	17,6	11,7	3,3	24,1	0,0	0,0	0,0	8,2	10,9
Oiseaux	E1			E2			E3			E4				
Nb de cadavres bruts	2			0			3			0				
EolApp (test non-paramétrique)	Médiane	[IC 10 - 90%]		Médiane	[IC 10 - 90%]		Médiane	[IC 10 - 90%]		Médiane	[IC 10 - 90%]		Mortalité moyenne/éolienne	Mortalité moyenne/éolienne
<i>Erikson</i>	3,0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	10,5	0,0	0,0	0,0	1,8	2,3
<i>Huso</i>	4,5	0,0	9,5	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	14,0	0,0	0,0	0,0	2,6	3,5
<i>Jones</i>	4,5	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	6,5	0,0	15,5	0,0	0,0	0,0	2,8	3,7
Moyenne Huso / Jones	4,5	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	6,3	0,0	15,5	0,0	0,0	0,0	2,7	3,6
Mortalité moyenne/an (+60%)	7,2	0,0	16,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	24,8	0,0	0,0	0,0	4,3	5,7
SOMME	19,6			8,8			21,7			0,0			12,5	16,7