SUIVI ENVIRONNEMENTAL ICPE

PARC EOLIEN DE POUGNY

Commune de Pougny (Nièvre - 58)

Janvier 2020

SEPE de Ludmila, Ludmila 2 et Ludmila 3

330 rue du Port Salut

60126 Longueil-Sainte-Marie

encis environnement

Bureau d'études en environnement
energies renouvelables et aménagement durable

www.encis-environnement.fr

Préambule

Dans le cadre de l'article 12 de l'arrêté ICPE du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent, les exploitants des parcs éoliens doivent tenir à disposition de l'inspection des ICPE un suivi environnemental.

Pour chaque parc éolien, le rapport de suivi environnemental remis à l'inspection des installations classées sera composé de tout ou partie des quatre suivis suivants en fonction des spécificités du site :

- suivi de l'évolution des habitats naturels
- suivi de l'activité de l'avifaune (oiseaux nicheurs, migrateurs et hivernants)
- suivi de l'activité des chiroptères
- suivi de mortalité de l'avifaune et des chiroptères

Le bureau d'études ENCIS Environnement a été missionné par la SEPE de Ludmila, Ludmila 2 et Ludmila 3 pour réaliser ce suivi environnemental ICPE.

Après avoir précisé la méthodologie utilisée et ses limites, ce dossier présente, les résultats des différents suivis.

SOMMAIRE

Partie 1 : Cadre général de l'étude 7

1.1 Maître d'ouvrage – exploitant 9

1.2 Auteurs de l'étude 9

1.3 Présentation du parc éolien étudié 10

1.4 Cadre règlementaire de l'étude de suivi environnemental pour les projets éoliens 12

Partie 2 : Méthodologies 13

2.1 Méthodologie et démarche générale 15

2.2 Suivi d'activité des chiroptères 16

2.2.1 Objectif et paramètres à prendre en compte 16

2.2.2 Méthodologie et pression d'inventaire 16

2.3 Suivi de la mortalité 21

2.3.1 Principe et objectif 21

2.3.2 Protocole utilisé 21

2.3.3 Méthodes d'estimation de la mortalité 22

2.3.4 Synthèse des limites et de leur compensation 29

Partie 3 : Résultats et analyse du suivi d'activité des chiroptères 31

3.1 Bilan des connaissances de l'étude d'impact 33

3.2 Suivi de l'activité des chiroptères 35

3.2.1 Suivi ultrasonique automatique permanent en nacelle d'éolienne 35

3.2.2 Comparaison qualitative et quantitative avec l'étude d'impact initiale 51

Partie 4 : Résultats et analyse du suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères 53

4.1 Résultats des tests et paramétrage des méthodes d'estimation 55

4.1.1 Efficacité du chercheur 55

4.1.2 Persistance des cadavres 55

4.1.3 Surfaces prospectées et correction surfacique 56

4.2 Mortalité de l'avifaune 57
4.2.1 Bilan des connaissances sur la mortalité de l'avifaune liée à l'éolien.....57
4.2.2 Résultats globaux du suivi de l'avifaune.....61
4.2.3 Résultats saisonniers globaux du suivi de l'avifaune 65
4.2.4 Résultats spatialisés par éolienne 66
4.2.5 Causalité.....67
4.2.6 Patrimonialité, sensibilité et vulnérabilité des espèces 68
4.2.7 Synthèse et préconisations 68
4.3 Mortalité des chiroptères.....70
4.3.1 Bilan des connaissances sur la mortalité des chiroptères liée à l'éolien 70
4.3.1 Résultats globaux du suivi des chiroptères.....74
4.3.2 Résultats saisonniers globaux du suivi des chiroptères.....78
4.3.3 Résultats spatialisés par éolienne 79
4.3.4 Causalité.....79
4.3.5 Patrimonialité, sensibilité et vulnérabilité des espèces 80
4.3.6 Synthèse et préconisations 80

Table des illustrations.....81

Annexes….....84
Annexe 1 : Tableau des données brutes récoltées lors du suivi.....84
Annexe 2 : Mortalité aviaire, simplifiée, observée en France et en Europe au 2 Septembre 2019 (Source : Dürr, 2019) 86
Annexe 3 : Mortalité des chauves-souris, simplifiée, observée en France et en Europe au 2 Septembre 2019 (Source : Dürr, 2019) 87
Annexe 4 : Fiches de terrain des cadavres retrouvés 88
Annexe 5 : Occupation des sols des surfaces théoriques de prospection 92

Partie 1 : Cadre général de l'étude

1.1 Maître d'ouvrage – exploitant

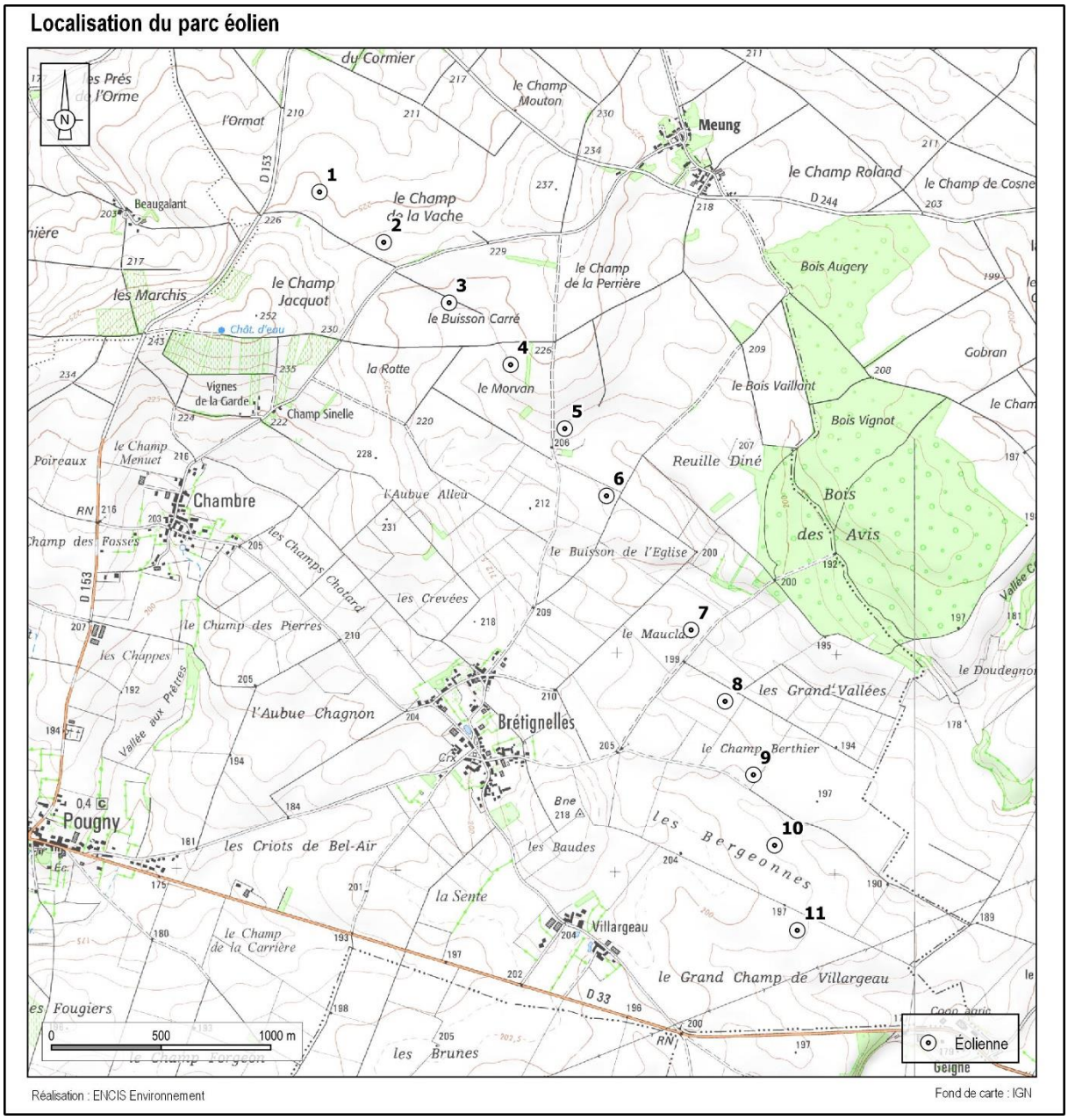
Destinataire	SEPE de Ludmila, Ludmila 2 et Ludmila 3
Adresse	330 rue du Port Salut 60126 Longueil Sainte Marie
Interlocuteur	Adrien DANIEL - Chargé d'exploitation (Enercon)
Téléphone	02 23 30 61 12

1.2 Auteurs de l'étude

Structure	encis environnement
Adresse	21 Rue de Columbia 87 068 LIMOGES
Téléphone	05 55 36 28 39
Coordination et rédaction de l'étude	Rémi TURBAN, Chargé d'études - Écologue
Suivi d'activité des chiroptères	Marie LABOURÉ, Responsable d'études - Chiroptérologue
Suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères	Mathurin CARNET, Technicien d'études - Écologue
Validation	Pierre PAPON, Directeur du pôle Écologie
Version / date	Janvier 2020

1.3 Présentation du parc éolien étudié

Le parc éolien étudié est situé sur la commune de Pougny, au nord-ouest du département de la Nièvre (carte suivante). Ce parc est constitué de onze éoliennes Enercon E103, d'une puissance unitaire de 2 350 kW.



Carte 1 : Localisation du parc éolien

Les éoliennes du parc de Pougny sont implantées au sein d'un paysage de grandes cultures (carte suivante). Toutefois, un boisement de taille importante est situé à proximité.

Carte 2 : Localisation du parc éolien sur photographie aérienne

1.4 Cadre règlementaire de l'étude de suivi environnemental pour les projets éoliens

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 R.122-14 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'Etat compétente en matière d'environnement. »

En novembre 2015, l'Etat 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 R.122-14 du code de l'environnement. Ce protocole a été actualisé en 2018.

Partie 2 : Méthodologies

2.1 Méthodologie et démarche générale

Le suivi environnemental analyse les impacts du projet sur l'avifaune et les chiroptères et, pour les installations soumises à autorisation, sur toute espèce protégée identifiée dont la sensibilité à l'éolien est avérée et présentant un enjeu dans l'évaluation environnementale préalable (dont étude d'impact). Les résultats sont ensuite comparés avec les conclusions de cette évaluation préalable. En application du principe de proportionnalité, l'intensité du suivi à mettre en œuvre dépendra des espèces présentes et des enjeux identifiés sur le site et de l'impact résiduel identifié par l'évaluation environnementale pour ces espèces. Pour les installations soumises à autorisation, le suivi mené par l'exploitant devra explicitement se référer aux mesures préconisées par l'étude d'impact et rappeler les données ayant permis de qualifier et quantifier les impacts résiduels du parc éolien précisés par cette dernière.

Afin de définir l'intensité du suivi à mettre en œuvre, une matrice des indices de vulnérabilité de l'état de conservation des différentes espèces au développement éolien et du risque est définie. La définition de ces indices est le résultat du croisement entre l'enjeu de conservation d'une espèce au niveau national et sa sensibilité avérée à l'activité des parcs éoliens.

- L'enjeu de conservation s'appuie sur les Listes Rouges préparées sur la base des principes édictés par l'UICN. La liste rouge nationale sera utilisée, complétée au besoin par une liste régionale, si celle-ci existe et si elle respecte les lignes directrices de l'UICN.

- La sensibilité d'une espèce à l'activité éolienne est déterminée en fonction de la mortalité européenne constatée et pondérée par l'abondance relative de l'espèce. Concernant les oiseaux, les chiffres de population européenne sont ceux publiés par BirdLife International (BirdLife 2004, utilisation des évaluations minimum de population hors Russie, Ukraine et Turquie). Concernant les chiroptères, il n'existe pas d'évaluation des populations européennes ou nationales. La sensibilité est dès lors définie comme le rapport entre le nombre de cas de mortalité constatée pour l'espèce dans la littérature européenne et le nombre total de cas de mortalité toutes espèces confondues.

Pour le parc éolien, le rapport de suivi environnemental remis à l'inspection des installations classées sera composé des deux suivis suivants :

- suivi de l'activité des chiroptères,
- suivi de mortalité de l'avifaune et des chiroptères.

2.2 Suivi d'activité des chiroptères

2.2.1 Objectif et paramètres à prendre en compte

Le suivi de l'activité des chauves-souris permet d'évaluer l'état de conservation des populations des chiroptères présentes de manière permanente ou temporaire au niveau de la zone d'implantation du parc éolien. Il a également pour objectif d'estimer l'impact direct ou indirect des éoliennes sur cet état de conservation, en prenant en compte l'ensemble des facteurs influençant la dynamique des populations. Ce suivi porte sur chacune des phases du cycle biologique des chauves-souris (transits printaniers et gestation, mise-bas et élevage des jeunes, transits automnaux et swarming).

Les paramètres faisant l'objet du suivi de l'activité des chiroptères sont déterminés dans l'étude d'impact en fonction des enjeux et des impacts potentiels identifiés sur le parc éolien. Ainsi, ce suivi examine des paramètres tels que l'état des populations sur le site (richesse spécifique, activité d'une espèce donnée, etc.), le comportement des chauves-souris en vol, les périodes et conditions de présence des individus, etc.

2.2.2 Méthodologie et pression d'inventaire

2.2.2.1 Protocole d'étude utilisé

Le protocole d'écoute en nacelle a pour but de réaliser des inventaires sur une longue période et à hauteur de nacelle d'éolienne.

Protocole d'inventaire sur site

Un enregistreur automatique (modèle BATmode S+ de *BioAcousticTechnology*) est placé dans la nacelle de chaque éolienne (E3 et E8) et le microphone est inséré dans sa paroi (illustration suivante).

Figure 1 : Dispositif installé dans la nacelle d'éolienne (copyright : B.A.T.)

L'enregistreur est équipé d'un micro, placé sous la nacelle de l'éolienne au moyen d'un trou percé dans la paroi de cette dernière. Ainsi, des relevés de la présence de chiroptères, dans un rayon allant jusqu'à 60 mètres autour du micro (distance variable selon les espèces), pourront être réalisés chaque nuit pendant les périodes d'inventaires.

Méthodes d'analyse des résultats

Les pistes sonores sont analysées par logiciel afin de déterminer les espèces présentes ainsi que leur comportement. Le dispositif étant positionné sur une nacelle d'éolienne, les données sur les conditions extérieures récoltées par cette dernière sont utilisées afin de mener une analyse croisée des paramètres.

Dans le but d'obtenir des données exploitables servant de base à l'interprétation d'un chiroptérologue, trois étapes sont nécessaires :

Analyse automatique des données brutes

A chaque détection de cris, le dispositif BATmode enregistre et une piste sonore est générée au format numérique. Cette dernière est sauvegardée sur un disque dur, permettant par la suite un transfert vers un ordinateur à distance.

Le grand nombre d'heures d'écoute engendre une grande quantité de pistes sonores, difficilement analysables manuellement. C'est pourquoi un logiciel de reconnaissance automatique des signaux ultrasons est utilisé. Le logiciel SonoChiro® traite les enregistrements en deux étapes :

- Le processus de détection consiste à localiser puis caractériser dans les fichiers enregistrés un maximum de signaux potentiellement émis par les chiroptères.

- Le processus de classification s'appuie sur la caractérisation des signaux détectés lors de la phase précédente. Cette classification s'opère sur chaque fichier où le logiciel a détecté des signaux de chiroptères. À l'issue de cette phase de classification, chaque contact bénéficie d'une identification à 4 niveaux : espèce, groupe, indice de présence de buzz (son émis pour la détection d'une proie) et indice de présence de cris sociaux. Chaque niveau bénéficie d'un indice de confiance allant de 0 à 10 de façon à refléter le risque d'erreur d'identification. La présence d'une espèce est jugée fiable lorsque l'indice de confiance est supérieur à 5.

Figure 2 : Indices de confiance établis par Sonochiro® et risques d'erreurs associés

Vérification des résultats par un chiroptérologue

Le logiciel de reconnaissance automatique génère un tableau de résultats. Pour chaque séquence enregistrée, un certain nombre de paramètres est donné (groupe, espèce, indices de confiance, nombre de cris, date de l'enregistrement, etc.). La validité des déterminations issues de la reconnaissance automatique par logiciel est variable selon la qualité des enregistrements, les espèces contactées et le nombre de cris par séquence. Les déterminations au groupe sont généralement fiables tandis que les déterminations fines (à l'espèce) doivent être validées par un chiroptérologue. Dans ce cadre, un chiroptérologue procède à une vérification des espèces sur la base de la bibliographie, de sa connaissance du terrain et des inventaires déjà réalisés. La présence de chaque espèce est vérifiée par un chiroptérologue.

Dans les cas des inventaires ultrasoniques automatiques permanents en hauteur, à raison d'une trop forte proportion de parasites dans les enregistrements, l'analyse acoustique a été renforcée pour éliminer l'ensemble de ces derniers.

Les séquences de qualité médiocre (faiblesse des sons, bruits parasites) ou dont les signaux peuvent correspondre à plusieurs espèces sans possibilités de les différencier, sont laissées au genre afin de limiter les marges d'erreur. A défaut de la connaissance de l'espèce pour certains enregistrements, le nombre de contacts enregistrés constitue une donnée permettant de quantifier l'activité chiroptérologique.

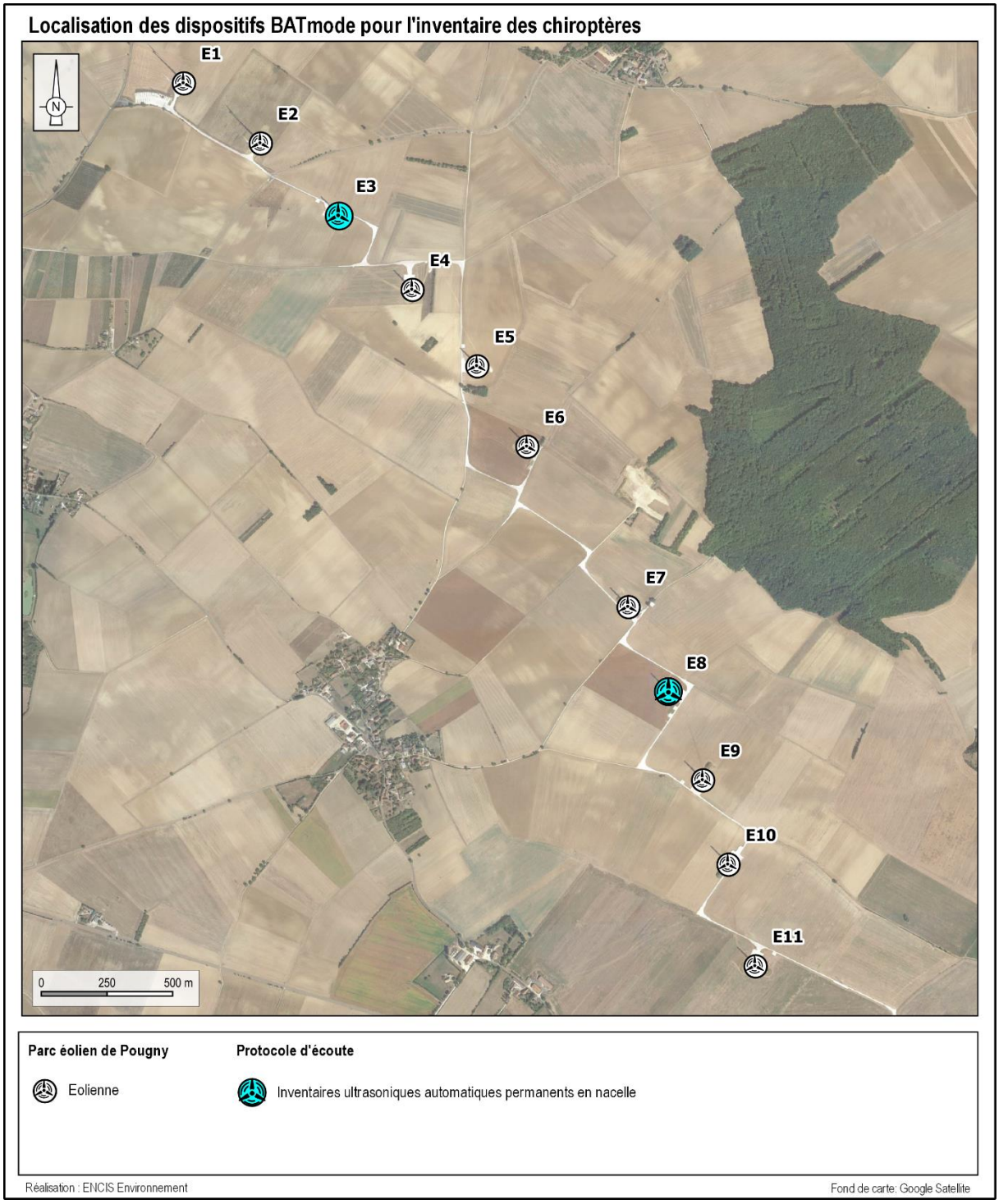
Corrélation des données chiroptérologiques, météorologiques et astronomiques

Afin de mettre en corrélation l'activité des chauves-souris et le cycle circadien, les données de lever et coucher du soleil sont associées à chaque enregistrement, qui se voit ainsi attribué des heures astronomiques d'évènement (heure UTM – Universal Greenwich Time). A l'issue de cette opération, chaque enregistrement est défini par une série complète de paramètres permettant d'exploiter au mieux les données. Par la suite, les données sont traitées sous le logiciel R, qui fait la corrélation entre nombre de contacts chiroptérologiques, heure astronomique et jour de l'année. Par la méthode du noyau (estimation de l'activité de densité de Kernel), un calcul de la densité de contacts chiroptérologiques est réalisé. Le rendu est élaboré sous la forme d'une carte de chaleur, présentant la répartition de l'activité chiroptérologique en fonction des heures de la nuit (ordonnées) et des jours de l'année (abscisses).

A l'instar des données astronomiques, les données météorologiques sont mises en corrélation avec les données chiroptérologiques. Cette mise en correspondance est réalisée par logiciel (macro Excel). Les enregistrements sont horodatés précisément tandis que les données météorologiques sont moyennées toutes les dix minutes. La donnée météorologique la plus proche temporellement de l'enregistrement lui est attribuée.

2.2.2.2 Localisation des protocoles effectués

La carte suivante permet de localiser le dispositif utilisé dans le cadre du protocole d'écoute ultrasonique en nacelle d'éolienne.



Carte 3 : Localisation des dispositifs BATmode pour l'inventaire des chiroptères

2.2.2.3 Calendrier des inventaires

Concernant les écoutes en nacelle d'éolienne, la période d'inventaire couvre la phase d'activité chiroptérologique maximale, à savoir les transits printaniers et la gestation (avril-mai), la mise-bas et l'élevage des jeunes (juin-juillet-août) et le swarming et les transits automnaux (septembre-octobre).

Ainsi, les dispositifs ont été installés le 18 avril 2019 et sont restés fonctionnels jusqu'au 5 novembre 2019 pour l'éolienne E3 et jusqu'au 5 octobre pour l'éolienne E8.

Au total, 202 nuits d'écoute ont été réalisées, entre 1 h avant le coucher du soleil et 1 h après le lever du soleil pour l'éolienne E3 et 166 nuits pour l'éolienne E8.

Thème	Dates	
	E3	E8
Installation	18 avril 2019	18 avril 2019
1ère données enregistrées	19 avril 2019	19 avril 2019
Période de dysfonctionnement du dispositif	-	Du 12 au 16 septembre 2019 Du 5 octobre au 5 novembre 2019
Phase d'analyse des données	Du 18 avril au 5 novembre 2019	Du 18 avril au 5 octobre 2019
Dernière donnée enregistrée	3 novembre 2019	5 octobre 2019

Tableau 1 : Calendrier des inventaires dédiés aux chiroptères

2.3 Suivi de la mortalité

2.3.1 Principe et objectif

L'évaluation de la mortalité animale (principalement oiseaux et chauves-souris) engendrée par un parc éolien passe par la recherche de cadavres au pied des aérogénérateurs. La méthode consiste en une recherche visuelle au sol durant un trajet réalisé à pied, selon un parcours prédéfini et reproduit à chaque visite.

Le nombre de visites est variable selon les sites et la période. Cette pression d'inventaire et l'organisation vis-à-vis de la phénologie des espèces constituent les éléments clés, jouant sur la précision des évaluations. L'adaptation des protocoles doit également tenir compte des résultats de l'étude d'impact et des enjeux identifiés sur le site.

La méthode proposée s'inspire du « Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres » de novembre 2015 (révisé en 2018) ainsi que du document « Suivi des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de Chiroptères » actualisé en 2016 par la SFEPM.

Le suivi de la mortalité permet de vérifier que les populations d'oiseaux et de chiroptères présentes au niveau du parc éolien ne sont pas affectées de manière significative par le fonctionnement des aérogénérateurs. L'objectif est de s'assurer que l'estimation effectuée dans l'étude d'impact du projet en termes de risques de mortalité n'est pas dépassée.

2.3.2 Protocole utilisé

2.3.2.1 Pression d'inventaires

La pression d'inventaire a été définie pour répondre aux exigences de l'arrêté du 26 août 2011, et notamment au travers du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres révisé en mars 2018. Ce dernier prévoit un minimum de 20 prospections entre les semaines 20 et 43 (mi-mai à mi-octobre).

Ce protocole est appliqué selon ces conditions sur le parc éolien de Pougny.

Au total sur l'année 2019, 20 prospections sont réalisées dans le cadre du suivi de la mortalité à raison d'une prospection par semaine, entre les semaine 20 et 43.

Les dates, conditions météorologiques et caractéristiques des prospections sont synthétisées en Annexe I.

2.3.2.2 Surface et méthode d'échantillonnage

Dans le cadre du suivi, la surface échantillonnée théorique correspond à un carré de 100 mètres de côté autour de chaque éolienne, soit des surfaces de 10 000 m². Le chercheur détermine un transect à suivre et l'utilise invariablement lors de chaque prospection. L'espacement entre les transects est limité à 15 mètres, soit la distance maximale de perception des cadavres par un observateur. Sur ce site, les transects seront espacés de 10 mètres. Le schéma théorique suivant présente la méthode mise en place dans le cadre d'un suivi de la mortalité au pied d'une éolienne.

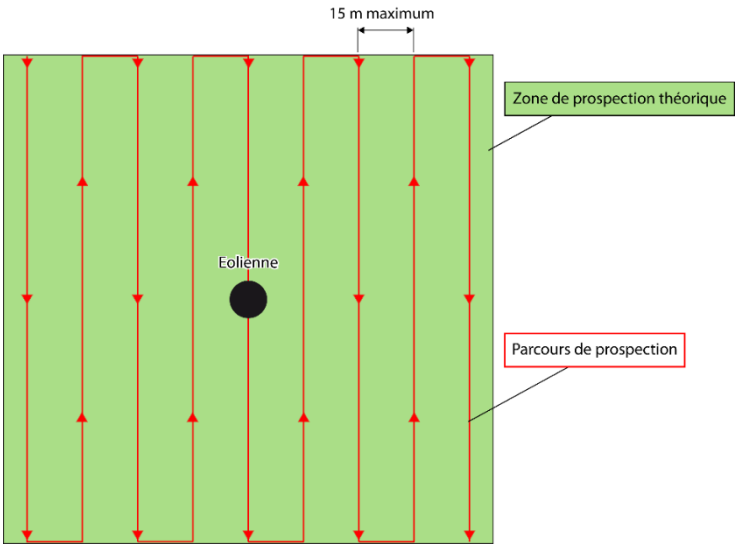


Figure 3 : Schéma théorique de parcours au pied d'une éolienne

Au cours de chaque prospection du suivi mortalité une fiche de données est complétée par le chercheur. De plus, à chaque découverte de cadavre, celui-ci est localisé par GPS, photographié et déterminé, puis, fait l'objet d'une fiche détaillée définie par le Ministère en charge des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Cette fiche permet la saisie standardisée de l'espèce et des conditions de mortalité constatées.

2.3.3 Méthodes d'estimation de la mortalité

L'estimation de la mortalité doit prendre en compte un certain nombre de paramètres permettant d'éviter des biais méthodologiques. Ainsi, cette estimation peut être calculée par plusieurs formules mathématiques (Winkelmann, 1989 ; Erikson, 2000 ; Jones, 2009 ; Huso, 2010 ; Korner, 2011 ; Etterson, 2013). D'une manière générale, outre le nombre de cadavres trouvés, plusieurs variables sont à intégrer :

- l'intervalle des prospections sur le site,
- l'efficacité de la personne recherchant les cadavres au sol (taux de détection),
- le prélèvement des cadavres par les animaux charognards (taux de prédation),
- les surfaces non-prospectables dues au couvert végétal, à la maîtrise foncière, etc.

2.3.3.1 Durée moyenne de l'intervalle (I)

La durée moyenne de l'intervalle entre deux prospections est prise en compte dans l'estimation de la mortalité.

Lors de ce suivi, la durée moyenne de l'intervalle est de : I = 7,42 jours

2.3.3.2 Test de détection

Ce test a pour but de déterminer l'efficacité du chercheur afin d'inclure ce paramètre dans l'estimation de la mortalité.

Un minimum de 15 cadavres de poussins et/ou de souris de tailles variées est déposé par une tierce personne sous les éoliennes du parc afin de simuler les oiseaux et chiroptères morts. Ces cadavres sont déposés de manière à couvrir différents types de végétation sur le parc (hors zones non-prospectées. Le chercheur effectue ensuite son parcours habituel. Le nombre de cadavres retrouvés est alors comptabilisé.

Le facteur de correction lié à l'efficacité des chercheurs (d) correspond à la proportion de cadavres trouvés par rapport au nombre de cadavres déposés, soit :

$$d = \frac{d_t}{d_T}$$

Où : - d_t : nombre de cadavres trouvés par chercheur
- d_T : nombre de cadavres déposés

Les paramètres des deux tests effectués sur l'année de suivi sont synthétisés dans le tableau suivant.

Test	Date	Nombre cadavres déposés		
		Petit (souris)	Gros (poussins)	Total
Test 1	25 juin 2019	25	26	51
Test 2	10 septembre 2019	48	27	75

Tableau 2 : Paramètres des tests de détection effectués sur l'année de suivi

2.3.3.3 Test de prédation

Ce test a pour but de prendre en compte le prélèvement des cadavres par les charognards dans l'estimation de la mortalité.

A la suite du test de détection, les cadavres leurres sont laissés sur place. Plusieurs prospections ont lieu les jours suivant, à J+1, J+3, J+6, J+9, J+13 et jusqu'à la disparition totale des cadavres. Cela permet de connaître la durée de persistance des cadavres avant leur prélèvement.

Ce prélèvement peut être mesuré de différentes manières selon la méthode d'estimation :

- **Le taux de prédation (z)**, utilisé dans la méthode de Winkelmann, soit le nombre de cadavres disparus 3 jours après leur dépôt, divisé par le nombre de cadavres déposés initialement

- **La durée moyenne persistance des cadavres (t)**, utilisée dans les méthodes d'Erickson, de Jones et d'Huso, qui est calculée comme suit :

$$t = \frac{\sum_{i=1}^{C_T} t_i}{C_T}$$

Où : - t_i : durée de persistance du cadavre i
- C_T : nombre de cadavres utilisés pour le test

La durée moyenne de persistance des cadavres est de : t = 1,92

- **Les taux de persistance des cadavres (d), de Jones et de Huso**, qui seront détaillés dans la partie traitant des méthodes d'estimation de la mortalité (2.3.3.5 - Protocoles « Jones » et « Huso »).

2.3.3.4 Correction surfacique

L'observateur calcule, lors de chaque sortie, la surface prospectable en fonction des tracés GPS réalisés *in situ* et reportés sous SIG. En effet, selon le stade de végétation (absence de végétation, végétation basse ou végétation haute), la capacité du chercheur à trouver les cadavres peut s'en trouver affectée. De fait, la surface devient non-prospectable lorsque la végétation est haute.

Pour pallier le biais induit par les surfaces non-prospectables, un facteur de correction surfacique est intégré à l'estimation de mortalité. Il est calculé comme suit :

$$A = \frac{A_{Th}}{A_p}$$

Où : - A_{Th} : surface théorique

- A_p : surface prospectée

Étant donnée l'évolution de la végétation au cours des saisons, un facteur de correction surfacique est calculé pour chaque prospection.

2.3.3.5 Estimation de la mortalité

Une fois la campagne de prospections réalisée, les résultats sont analysés et différentes méthodes d'estimation de la mortalité sont utilisées.

Protocole « Winkelmann »

Le protocole « Winkelmann » se base sur une formule qui ne tient compte que des taux de prédation et de détection sans prendre en considération leurs variabilités pendant un intervalle de temps défini. Les résultats obtenus sont d'une très grande variabilité. Cette formule tend à les surestimer en cas de forte prédation et/ou d'une efficacité chercheur faible.

$$N = \frac{C}{z * d} * A$$

Où : - N : mortalité estimée

- C : nombre de cadavres trouvés durant le suivi
- z : taux de prédation, soit le nombre de cadavres disparus 3 jours après leur dépôt, divisé par le nombre de cadavres initiaux
- d : efficacité du chercheur
- A : coefficient de correction surfacique

Protocole « Erickson »

En 2000, Erickson intègre au calcul une nouvelle variable, la durée moyenne de persistance des cadavres. L'avantage de cette formule est qu'elle fonctionne même lorsque la durée de persistance des cadavres est nulle. L'inconvénient est qu'en cas de variable nulle, les résultats de l'estimation de la mortalité seront plus faibles (sous-estimation), la prédation étant minorée.

$$N = \frac{(I * C)}{(t * d)}$$

Où :
- N : mortalité estimée
- I : durée moyenne (en jours) de l'intervalle entre deux prospections
- C : nombre de cadavres trouvés durant le suivi
- t : durée moyenne de persistance des cadavres
- d : efficacité du chercheur

Protocoles « Jones » et « Huso »

Ces deux protocoles sont très semblables et intègrent deux nouvelles variables :

- Le taux de persistance (dont le calcul diffère d'un protocole à l'autre)
- Le coefficient correcteur de l'intervalle

$$N = \left(\frac{C}{d * p * \hat{e}}\right) * A$$

Où :
- N : mortalité estimée
- C : nombre de cadavres trouvés durant le suivi
- d : efficacité du chercheur
- p : taux de persistance (voir calcul ci-dessous « Jones » ou « Huso »)
- ê : coefficient correcteur de l'intervalle (voir ci-dessous)
- A : coefficient de correction surfacique

Le coefficient correcteur de l'intervalle est défini comme suit :

$$\hat{e} = \frac{Min\ (I : \hat{I})}{I}$$

Où :
- I : durée moyenne (en jours) de l'intervalle entre deux prospections
- Î : intervalle effectif, soit : - log (0,01) * t
- t : durée moyenne de persistance des cadavres

« Jones »

En 2009, Jones et *al*. proposent une méthode intégrant un taux de persistance et un coefficient correcteur de l'intervalle. Cette méthode repose sur les postulats suivants :

- Le taux de mortalité est constant sur l'intervalle défini
- La durée de persistance d'un cadavre suit une variable exponentielle négative (impliquant que la probabilité de disparition moyenne sur l'intervalle corresponde à la probabilité de disparition d'un cadavre à la moitié de l'intervalle)

Ainsi, Jones définit le taux de persistance comme suit :

$$p = e^{\left(\frac{-0,5 * I}{t}\right)}$$

Où : - I : durée moyenne (en jours) de l'intervalle entre deux prospections
- t : durée moyenne de persistance d'un cadavre

D'où :

$$N = \frac{C}{d * e^{\left(\frac{-0,5 * I}{t}\right)} * \hat{e}} * A$$

Le taux de persistance selon Jones est de : p = 0,14

« Huso »

En 2010, Huso propose une nouvelle évaluation du taux de persistance. En se basant sur la formule de Jones, elle considère que la probabilité de disparition au point moyen de l'intervalle (second postulat de Jones), n'est pas égale à la probabilité moyenne de persistance d'un cadavre.

Ainsi, Huso définit le taux de persistance comme suit :

$$p = \frac{\left(t * \left(1 - e^{\left(-\frac{I}{t}\right)}\right)\right)}{I}$$

Où : - I : durée moyenne (en jours) de l'intervalle entre deux prospections
- t : durée moyenne de persistance d'un cadavre

D'où :

$$N = \frac{C}{d * \left(\frac{t * \left(1 - e^{\frac{-I}{t}}\right)}{I}\right) * \hat{e}} * A$$

Le taux de persistance selon Huso est de : p = 0,25

Protocole « Korner »

En 2011, Korner-Nievergelt propose une nouvelle méthode d'estimation de la mortalité qui semble non biaisée quand l'efficacité du chercheur et la probabilité de persistance sont constantes. En revanche lorsque ces variables diffèrent, cette méthode semble comporter les mêmes biais que celles d'Huso ou d'Erickson.

$$N = md\left(s\frac{1-s^I}{1-s}\right)\left(\sum_{i=0}^{n-1}(n-i)\left((1-d)s^I\right)^i\right)$$

Où : - N : mortalité estimée
- m : nombre de cadavres trouvés par jour
- s : probabilité qu'un cadavre ne disparaisse pas en 24 heures soit :

$$s = 1 - \frac{Nb\ de\ cadavre\ disparu\ en\ 24h}{Nb\ de\ cadavre\ initial}$$

- I : durée moyenne (en jours) de l'intervalle entre deux prospections
- n : nombre de recherches pendant l'étude
- i : numéro de la recherche
- d : efficacité du chercheur

Protocole « Etterson »

En 2013, « Etterson » publie une nouvelle formule pour estimer la mortalité. Cette formule tend à être plus adaptée lorsque les recherches sont irrégulières. La formule mathématique n'est pas développée ici. L'estimation sera calculée par l'intermédiaire du logiciel R et du package « carcass ».

Concernant l'estimation de la mortalité, la SFEPM juge que l'estimateur de Winkelman est obsolète et qu'au moins trois des estimateurs suivants doivent être utilisés : Huso, Jones, Erickson, Korner-Nievergelt, Limpens, Bastos, etc.

Les quatre derniers protocoles décrits dans cette partie (Huso, Jones, Korner et Etterson) sont les plus récents et intègrent des variables permettant de réduire les biais méthodologiques. La moyenne de ces quatre estimateurs sera utilisée pour estimer la mortalité.

Les estimateurs de Winkelmann et d'Erickson seront donnés à titre indicatif et seront utilisés lors de la comparaison de la mortalité avec d'autres parcs.

2.3.3.6 Postulat de chaque méthode d'estimation

Méthodes	Aire d'étude	Intervalle entre deux recherches	Prédation	Détection
Winkelmann (1989)	Pris en compte	Pas d'exigence	Pris en compte (Nombre de cadavres disparus dans un intervalle de temps non précisé)	Pris en compte (Test détection)
Erickson (2000)	Pris en compte	Pas d'exigence	Pris en compte (Durée de persistance) Suppose que la prédation suit une loi exponentielle.	Pris en compte (Test détection) Suppose qu'un cadavre non trouvé lors d'une recherche peut l'être aux suivantes.
Jones (2009)	Pris en compte	Pas d'exigence	Pris en compte (Durée de persistance) Suppose que la prédation est constante dans l'intervalle entre deux recherches	Pris en compte (Test détection) Suppose qu'un cadavre non trouvé lors d'une recherche peut l'être aux suivantes.
Huso (2010)	Pris en compte	Intervalle basé sur « i » (Le temps au-delà duquel la probabilité de persistance est inférieure à 1%)	Pris en compte (Durée de persistance) Suppose que la prédation suit une loi exponentielle.	Pris en compte (Test détection) Suppose qu'un cadavre non trouvé lors d'une recherche ne peut l'être aux suivantes.
Korner (2011)	Non ajustée (dans la formule de base)	Intervalle régulier	Pris en compte (Probabilité persistance) Suppose que la prédation est constante, au fil du temps.	Pris en compte (Test détection) Suppose qu'un cadavre non trouvé lors d'une recherche peut l'être aux suivantes. Suppose une détectabilité constante ou décroissante au fil du temps
Etterson (2013)	-	Intervalle régulier et irrégulier	Pris en compte Suppose que la probabilité est constante ou dépend de « l'âge » du cadavre ou dépend d'un calendrier.	Pris en compte (Test détection) Suppose qu'un cadavre non trouvé lors d'une recherche peut l'être aux suivantes.

Il est à prendre en compte que la formule de Winkelmann (1989) tend à surestimer la mortalité réelle, notamment lorsque la durée de persistance des cadavres est faible. A l'inverse, la formule d'Erickson (2000) tend à sous-estimer la mortalité réelle, notamment lorsque la durée de persistance des cadavres est importante. Comme mentionné précédemment, ces deux formules sont donc données seulement à titre indicatif afin de permettre une comparaison avec d'autres parcs éoliens.

2.3.4 Synthèse des limites et de leur compensation

Les résultats de l'inventaire sont des résultats bruts. Plusieurs variables sont prises en compte pour estimer la mortalité et limiter les biais, toutefois quelques imperfections subsistent :

- Des cadavres peuvent disparaitre avant le passage de l'observateur. Ces derniers ne peuvent alors être comptabilisés. Ce biais reste limité grâce à une forte pression d'inventaire ainsi qu'à l'utilisation d'un coefficient de persistance des cadavres.
- L'efficacité des chercheurs ainsi que la visibilité liée aux couvertures végétales sous les éoliennes créent un biais de détection. Ce biais est cependant compensé par le coefficient de détection qui détermine le pourcentage de cadavres découverts par un observateur sur les différentes couvertures végétales.
- Le prélèvement des cadavres est fluctuant d'un parc à un autre et d'une éolienne à une autre. Les tests de prédation sont effectués sous plusieurs éoliennes avec des leurres de différentes tailles afin d'améliorer la précision de l'estimation de la prédation sur l'ensemble du parc.
- La surface prospectée autour d'une éolienne est rarement exhaustive à cause de la hauteur et de la densité du couvert végétal qui rend impossible la détection de cadavres. Ce biais est corrigé par le coefficient de correction surfacique qui intègre la surface prospectée lors de chaque passage. Cette correction se base sur l'hypothèse que les cadavres se répartissent de façon homogène sous l'éolienne.

Enfin, d'autres biais ne peuvent être palliés mais sont limités autant que possible :

- La surface de prospection est un carré englobant la totalité de la zone de survol des pales, il est possible que des individus soient éjectés en dehors de cette zone ou soient blessés et meurent à une distance bien plus éloignée. Il s'agit du « cripping loss », un biais peu étudié et non pris en compte dans les différentes méthodes d'estimations.
- Les pratiques agricoles peuvent faire disparaître des cadavres (par enfouissement, etc.). Si les disparitions des cadavres sont censées être prises en compte par le coefficient de prélèvement, ces évènements sont cependant ponctuels et donc difficilement intégrables à l'estimation.
- L'efficacité du chercheur peut être biaisée en fonction des conditions météorologiques. Ce biais est réduit car les prospections sont réalisées autant que possible par temps correct.

Partie 3 : Résultats et analyse du suivi d'activité des chiroptères

3.1 Bilan des connaissances de l'étude d'impact

D'après les résultats présentés dans l'étude d'impact du parc éolien éolien de Pougny, les études effectuées sur les chiroptères ont été réalisées par Intervent avec sept soirées d'écoutes sur le terrain et un pré-diagnostic réalisé par la Société d'Histoire Naturelle d'Autun. Les inventaires de l'étude d'impact présentent des données récoltées au sol, alors que le suivi de 2019 a été effectué à hauteur de nacelle, afin d'obtenir des résultats les plus représentatifs de l'activité de ces derniers.

Par conséquent, seul un comparatif des espèces rencontrées pourra être effectué, en prenant en compte le fait que le cortège des espèces de haut-vol est bien moins diversifié que celui des espèces volant à faible hauteur.

Compte tenu de ces informations, les analyses de l'évolution des populations et de leurs comportements vis-à-vis du parc éolien ne pourront être menées finement.

Directive européenne « Habitats-Faune-Flore » (DHFF)

Espèces d'intérêt communautaire en annexe II :

- Petit rhinolophe
- Grand rhinolophe
- Grand murin
- Vespertilion à oreilles échancrées
- Barbastelle d'Europe

Liste rouge nationale

Espèces vulnérables (V) : Espèces dont les effectifs sont en forte régression du fait de facteurs extérieurs défavorables. Ces espèces sont susceptibles de devenir en danger si les facteurs responsables de leur vulnérabilité continuent d'agir.

Espèces à surveiller (S) : Cette catégorie correspond aux espèces sensibles, sans être toujours menacées, elles méritent une attention particulière.

Espèces vulnérables	**V**
Petit rhinolophe	
Grand rhinolophe	
Vespertilion à oreilles échancrées	
Grand murin	
Barbastelle d'Europe	
Espèces à "surveiller"	**S**
Vespertilion à moustaches	
Vespertilion de Natterer	
Sérotine commune	
Pipistrelle commune	
Pipistrelle de Nathusius	
Pipistrelle de Kuhl	
Oreillard roux	
Oreillard gris	

Figure 4 : Richesse spécifique des chiroptères et espèces patrimoniales inventoriées lors du pré-diagnostic (SHNA)

Sur l'aire d'étude, **les principaux enjeux concernent 4 colonies de mise bas** de Grand murin et de Sérotine commune (espèces impactées par les éoliennes).

Dans un rayon de 5 km :

- **Une colonie de mise bas de 184 Grands murins** est située à 5 km au sud-est du projet.
- **Une colonie de Sérotine commune** est située à 4 km au nord du projet.

Dans un rayon de 5 à 10 km :

- **Une colonie de mise bas de 130 Grands murins** est présente à 10 km du projet.

Dans un rayon de 10 à 20 km :

- **Une colonie de mise bas de 80 Grands murins** est située à 15 km.

Figure 5 : Enjeux identifiés pour les chiroptères lors du pré-diagnostic (SHNA)

Le tableau ci-dessous par espèce présente ou potentiellement présente dans l'aire d'étude récapitule le risque par espèce selon la méthodologie présentée dans le protocole d'étude chiroptérologique sur les projets de parcs éoliens d'août 2010. Il fait l'objet d'un croisement des enjeux par espèce en fonction des statut de l'espèce localement et des sensibilités connues. Sont pris en considération uniquement les risques de mortalité et de destruction directe d'habitat et de gîtes connus.

Espèce	Enjeu	Sensibilité	Risque
Sérotine Commune	Faible	Moyenne	Faible
Grand Murin	Fort	Faible	Très faible à Faible
Murin à Oreilles Echancrées	Fort	Très faible	Très faible
Pipistrelle Commune	Très Faible	Forte	Moyen
Barbastelle d'Europe	Moyen	Très faible	Très faible
Oreillard sp	Faible	Faible	Très faible
Grand Rhinolophe	Fort	Très Faible	Très Faible
Petit Rhinolophe / Murin Natterer	-	-	-

Figure 6 : Espèces inventoriées lors de l'étude d'impact et sensibilités à l'éolien (Intervent)

Comme nous l'avons vu à l'état initial, le site est relativement dépourvu d'éléments verticaux structurants et est de fait peu propice à la présence de chiroptères. Lors des sept nuits d'écoutes seuls quelques Pipistrelles Communes ont été observées chassant le long de la route départementale reliant Meung à Chambres ainsi que dans un petit verger près de Meung alors que pour la partie centrale du site aucun contact n'a pu être établis. Même avec ce peu de contact, rappelons que toutes les espèces de chauves souris sont protégée tant au niveau national que international.

Ainsi, au vue de ces résultats l'éolienne 2 se trouve à environ 200 mètres de cette route utilisée par les chauves-souris. Un risque de collision avec les pipistrelles communes est alors possible. Cependant cette espèce contrairement à beaucoup d'autres est une espèce commune et non menacée.

Les autres espèces pouvant potentiellement survoler la zone en se déplaçant des gîtes vers les lieux de chasses comme la colonie de Grand Murins qui à un rayon de dispersion de dix à quinze kilomètres et qui localisée à cinq kilomètres du projet sont des espèces peu sensibles au risque de collision.

Nous pouvons ainsi conclure que l'installation d'un parc éolien à Pougny présentera un risque moyen en ce qui concerne les pipistrelles communes et un risque très faible pour l'ensemble des autres chauves souris. Rappelons qu'aucune Noctule n'a été contactée.

Ainsi l'impact du parc éolien de Pougny semble relativement faible.

Figure 7 : Conclusion de l'analyse des données chiroptères de l'étude d'impact (Intervent)

3.2 Suivi de l'activité des chiroptères

3.2.1 Suivi ultrasonique automatique permanent en nacelle d'éolienne

Les résultats présentés dans cette partie, correspondent aux inventaires réalisés à l'aide d'un détecteur automatique. Ces inventaires sont réalisés durant plusieurs mois consécutifs en un point fixe.

Pour rappel, un dispositif BATmode a été installé dans les nacelles des éoliennes n°3 et n°8 du parc de Pougny. Les nacelles, positionnées à 138 mètres du sol, sont équipées d'instruments de mesure météorologique afin de connaître les ressources en vitesses de vent et températures sur le site.

Le dispositif BATmode a effectué des enregistrements automatiques durant 202 nuits sur l'éolienne n°3 et 166 nuits sur l'éolienne n°8.

3.2.1.1 Richesse et activité spécifique enregistrée

Résultats obtenus sur l'ensemble de la période d'étude

Le tableau suivant présente les résultats issus des analyses du logiciel Sonochiro®. Ces données ont été vérifiées par un chiroptérologue afin d'obtenir une liste d'espèces dont la présence est certifiée. Tous les contacts ne peuvent être vérifiés en raison d'un trop grand nombre de séquences, mais plusieurs d'entre elles sont contrôlées pour chaque espèce et pour chaque indice de confiance. Par cette méthode, les résultats présentés dans le tableau suivant constituent une base de données jugée fiable. Le tableau présente les résultats pour les deux dispositifs et donc pour les deux éoliennes équipées.

Genre	Espèces	Recensement		Total estimé
		Éolienne n°3	Éolienne n°8	
Eptesicus	Sérotine commune	41	33	74
Nyctalus	Noctule commune	373	301	674
	Noctule de Leisler	283	196	479
Pipistrellus	Pipistrelle commune	151	96	247
	Pipistrelle de Kuhl	37	23	60
	Pipistrelle de Nathusius	32	26	58
Total		**917**	**675**	**1 592**

Tableau 3 : Répartition du nombre de contacts par espèce

La richesse spécifique inventoriée par les protocoles d'écoute permanente en nacelle d'éolienne est de 6 espèces. Cette diversité observée est cohérente avec les résultats attendus à une hauteur de 138 mètres. En effet, les inventaires sont réalisés en un point fixe et à une hauteur où une plus faible proportion de chiroptères est susceptible de voler.

D'un point de vue de la répartition de l'activité par espèce (figures suivantes), les résultats observés sur les deux éoliennes sont assez similaires.

En effet, la Noctule commune et la Noctule de Leisler dominent l'activité sur le parc éolien avec respectivement plus de 40 % et environ 30 % des contacts.

La Pipistrelle commune se trouve en troisième position en regroupant environ 15 % des contacts.

Ensuite, la Sérotine commune et la Pipistrelle commune sont contactées à hauteur de 4-5 % des contacts enregistrés.

Enfin, il est à noter que la Pipistrelle de Nathusius affiche 4 % des contacts sur les deux dispositifs installés, ce qui est remarquable pour cette espèce rare et migratrice.

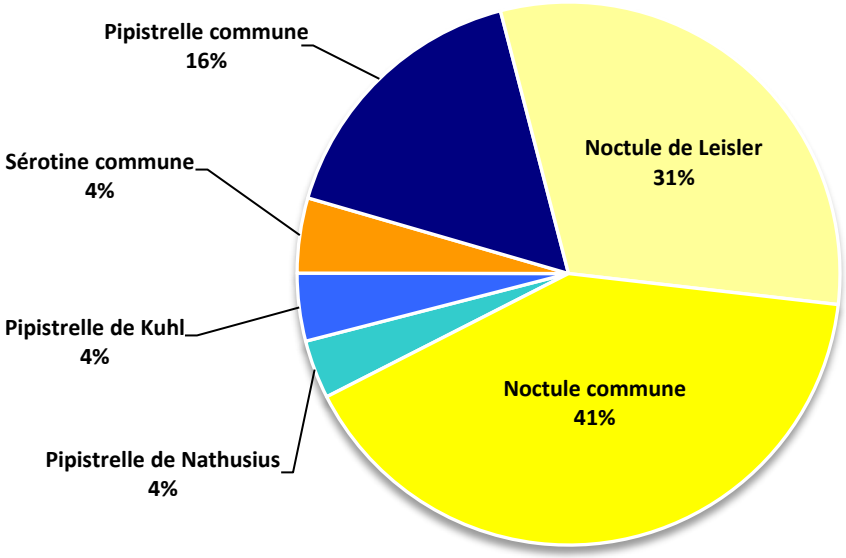


Figure 8 : Répartition des contacts par espèce sur l'ensemble de la période d'étude (éolienne n°3)

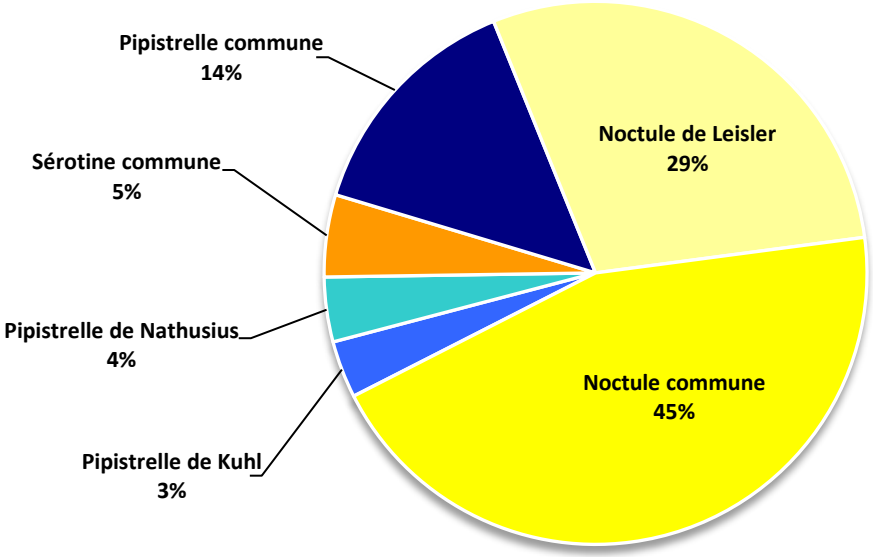


Figure 9 : Répartition des contacts par espèce sur l'ensemble de la période d'étude (éolienne n°8)

La Noctule commune et la Noctule de Leisler sont les deux espèces les plus contactées sur le site de Pougny.

Répartition du nombre de contacts enregistrés

Activité chiroptérologique journalière

Le graphique suivant illustre l'activité chiroptérologique par nuit d'inventaire. Pour plus de lisibilité, les nuits n'ayant pas recensé de contact de chiroptère sont représentées par un point rouge. Ainsi, l'activité inter-journalière des chauves-souris est très irrégulière. L'activité enregistrée par nuit varie ainsi de 0 à 120 contacts. Durant la période inventoriée, plusieurs nuits présentent une cinquantaine de contacts ou plus. Un pic d'activité est observable le 6 août sur les deux nacelles suivies avec plus de 100 contacts. A l'inverse les nuits du 8 juin, du 19 août et du 27 août affichent respectivement une activité plus marquée autour l'éolienne n°3 pour la première date et de l'éolienne n°8 pour les deux suivantes. Le second pic d'activité de la nuit du 21 octobre sur la n°3 est également remarquable avec 116 contacts de chiroptères. Ce pic n'apparait pas sur la n°8 car l'enregistreur était en panne à partir du 5 octobre mais on pourrait s'attendre à la même observation que lors du premier pic d'activité abordé ci-avant.

Une activité chiroptérologique plus régulière est à noter sur la n°8, notamment en début d'année, avec une activité apparaissant comme plus élevée que sur la n°3.

Sur l'ensemble de la période d'étude, le nombre de contacts par nuit est irrégulier. **Cette variabilité journalière est particulièrement complexe à anticiper**, dépendant de multiples facteurs, à l'exemple des conditions météorologiques, de la présence de ressources alimentaires, des phases du cycle des chauves-souris, etc.

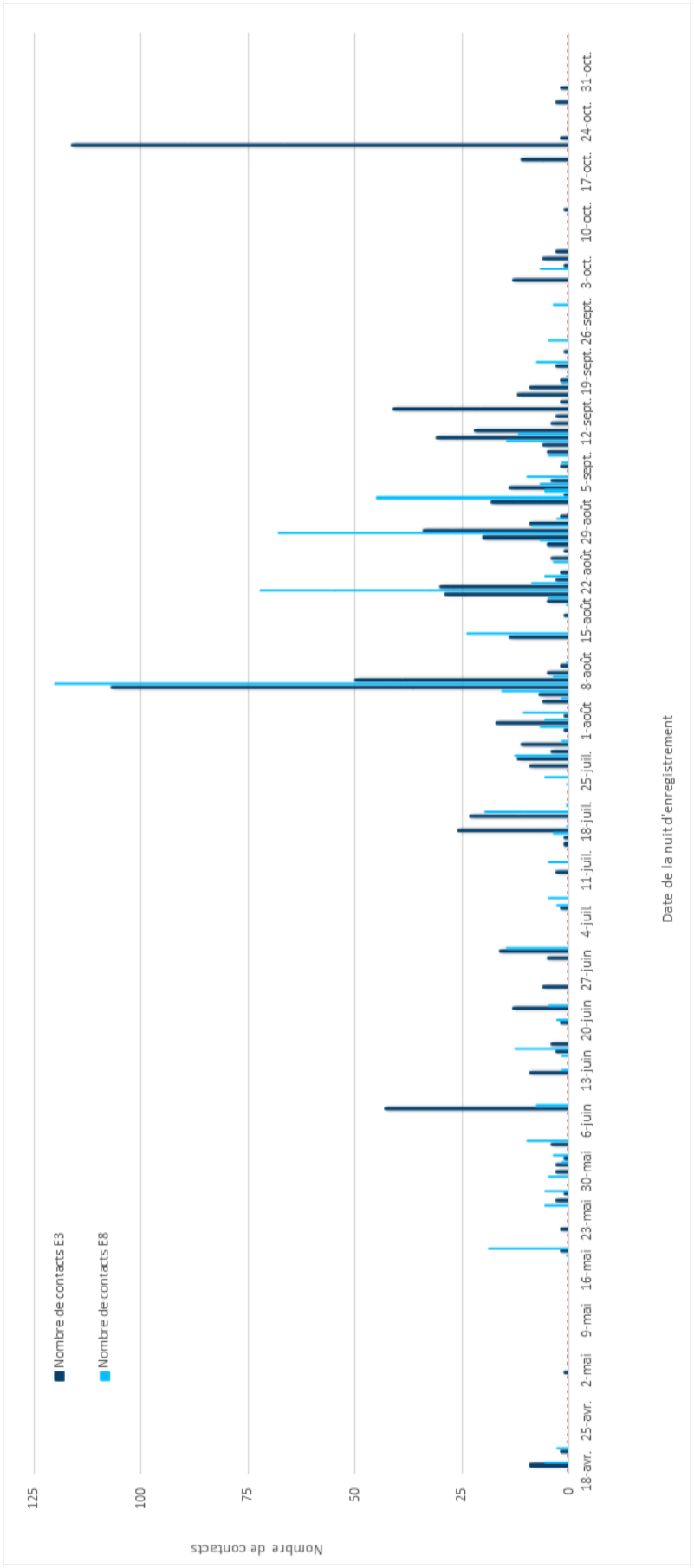


Figure 10 : Répartition du nombre de contacts par nuit durant la période de suivi

Résultats obtenus en fonction des mois d'inventaire

Les graphiques suivants illustrent le nombre de contacts enregistrés par espèce et par mensualité. Ils ont également été ramenés au nombre de nuits d'écoute, permettant une comparaison des activités moyennes par nuit dans le tableau ci-après.

Ainsi, l'activité chiroptérologique est progressive au cours d'avril à août où l'on atteint un maximum de plus de 350 contacts enregistrés sur les deux éoliennes équipées du dispositif, puis cette activité se réduit progressivement au mois de septembre et octobre. A noter que l'éolienne n°8 était en panne à partir du 5 octobre, d'où la chute brutale d'activité sur le second graphique.

Plusieurs phénomènes sont marqués :

- Une activité des noctules supérieure à celle des pipistrelles sur la majorité des mois d'inventaires hormis lors du mois de juin. Cette tendance démontre une fréquentation régulière du parc éolien par ces espèces tout au long de l'année.
- La présence marquée de la Pipistrelle de Nathusius au mois de septembre et octobre qui corrobore le caractère migrateur de cette espèce.

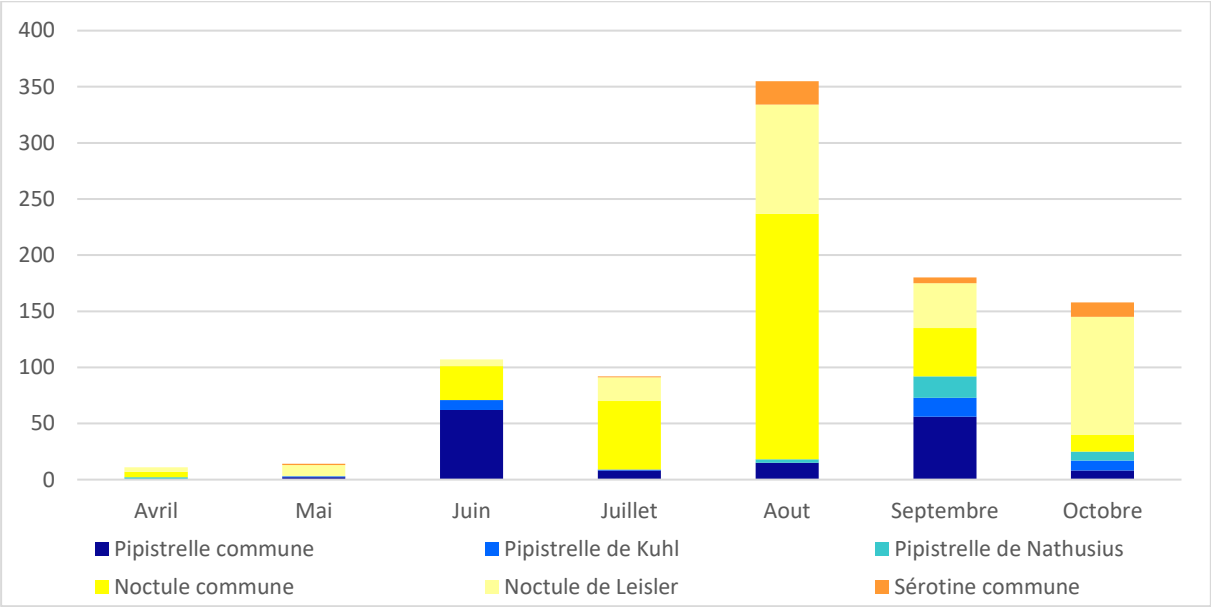


Figure 11 : Répartition des contacts par espèce et par mois sur l'ensemble de la période d'étude (éolienne n°3)

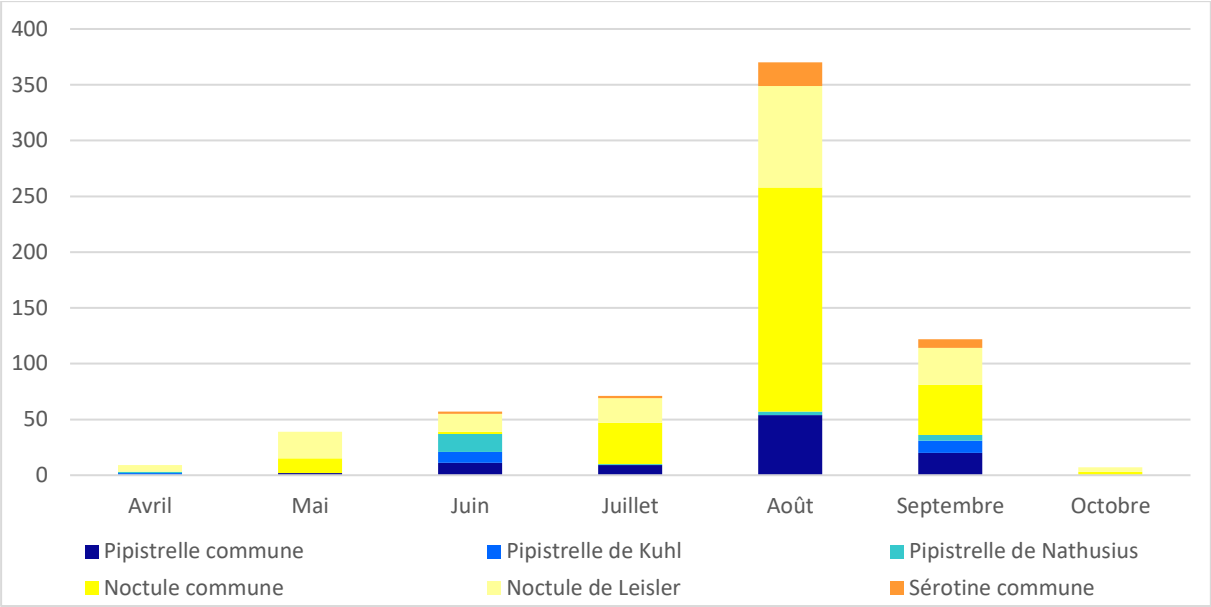


Figure 12 : Répartition des contacts par espèce et par mois sur l'ensemble de la période d'étude (éolienne n°8)

Le tableau suivant permet de valider la forte activité observée aux mois d'août et de septembre, qui regroupent 59 % et 73 % des contacts enregistrés lors de ces inventaires. L'activité par nuit reste cependant très faible à modérée sur l'ensemble des mois d'enregistrement.

	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Total
Nombre de contacts	11	14	107	92	355	180	158	0	917
Pourcentage des contacts	1%	2%	12%	10%	39%	20%	17%	0%	100%
Nombre de nuits d'enregistrement	13	31	30	31	31	30	31	4	202
Moyenne du nombre de contacts par nuit	**0,8**	**0,5**	**3,6**	**3,0**	**11,5**	**6,0**	**5,1**	**0,0**	**4,6**

Tableau 4 : Répartition du nombre de contacts par mois (éolienne n°3)

	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Total
Nombre de contacts	9	39	57	71	370	122	7	675
Pourcentage des contacts	1%	6%	8%	11%	55%	18%	1%	100%
Nombre de nuits d'enregistrement	13	31	30	31	31	25	5	166
Moyenne du nombre de contacts par nuit	**0,7**	**1,3**	**1,9**	**2,3**	**11,9**	**4,9**	**1,4**	**4,1**

Tableau 5 : Répartition du nombre de contacts par mois (éolienne n°8)

Résultats obtenus en fonction du cycle biologique des chiroptères

Le tableau suivant présente le nombre de contacts enregistrés sur l'éolienne 3 pour chaque phase biologique. Ils ont également été ramenés au nombre de nuits d'écoute, permettant une comparaison des activités moyennes par nuit. Les résultats obtenus sur les deux dispositifs installés étant très similaire, il a été décidé de présenter l'éolienne ayant le plus de nuits d'enregistrement.

	Transits printaniers et gestation	Mise-bas et élevage des jeunes	Transits automnaux et swarming	Cycle complet
Nombre de contacts	25	409	483	917
Nombre de nuits d'enregistrement	44	76	81	201
Pourcentage des contacts	2,7 %	44,6 %	52,7 %	100,0 %
Moyenne du nombre de contacts par nuit	**0,6**	**5,4**	**6**	**4,6**

Tableau 6 : Répartition du nombre de contacts en fonction des saisons (éolienne n°3)

L'activité sur le cycle complet est de 917 contacts, soit une moyenne de 4,6 contacts par nuit, ce qui représente une activité plutôt faible.

L'activité en transits printaniers et gestation affiche 44 contacts soit 0,6 contact par nuit en moyenne ce qui correspond une activité très faible.

En phase de mise-bas et d'élevage des jeunes, 409 contacts ont été inventoriés, soit près de 45 % des contacts totaux. Cette activité, de 5,4 contacts par nuit, est considérée comme faible.

Enfin, l'activité en transits automnaux et swarming est de 483 contacts, soit 6 contacts par nuit, ce qui représente également une activité faible. Cette phase affiche cependant la majorité des contacts avec 52,7 % des contacts totaux, ce qui fait de ce site une zone importante de transits automnaux et/ou de swarming.

La période automnale regroupe le plus de contacts (52 %), pour une activité faible durant cette phase. L'activité en été est également marquée, avec 44,6 % des contacts et une moyenne de 5,4 contacts par nuit. L'activité au printemps est beaucoup moins marquée, présentant une activité moyenne qui est très faible, avec 0,6 contacts par nuit.

3.2.1.2 Activité chiroptérologique en fonction des facteurs astronomiques et météorologiques

Activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien

Résultats obtenus sur l'ensemble de la période d'étude

La répartition du nombre de contacts en fonction des heures de la nuit et de la période de l'année est représentée dans le graphique suivant. Ainsi, ce graphique est présenté sous la forme d'une carte de chaleur affichant la densité de contacts chiroptérologiques. Pour rappel, les aplats de couleurs représentent l'intensité de l'activité chiroptérologique, répartie entre les heures de la nuit (heure astronomique et non civile) en ordonnées, et les jours de l'année en abscisses. La couleur blanche correspond à l'absence de contact.

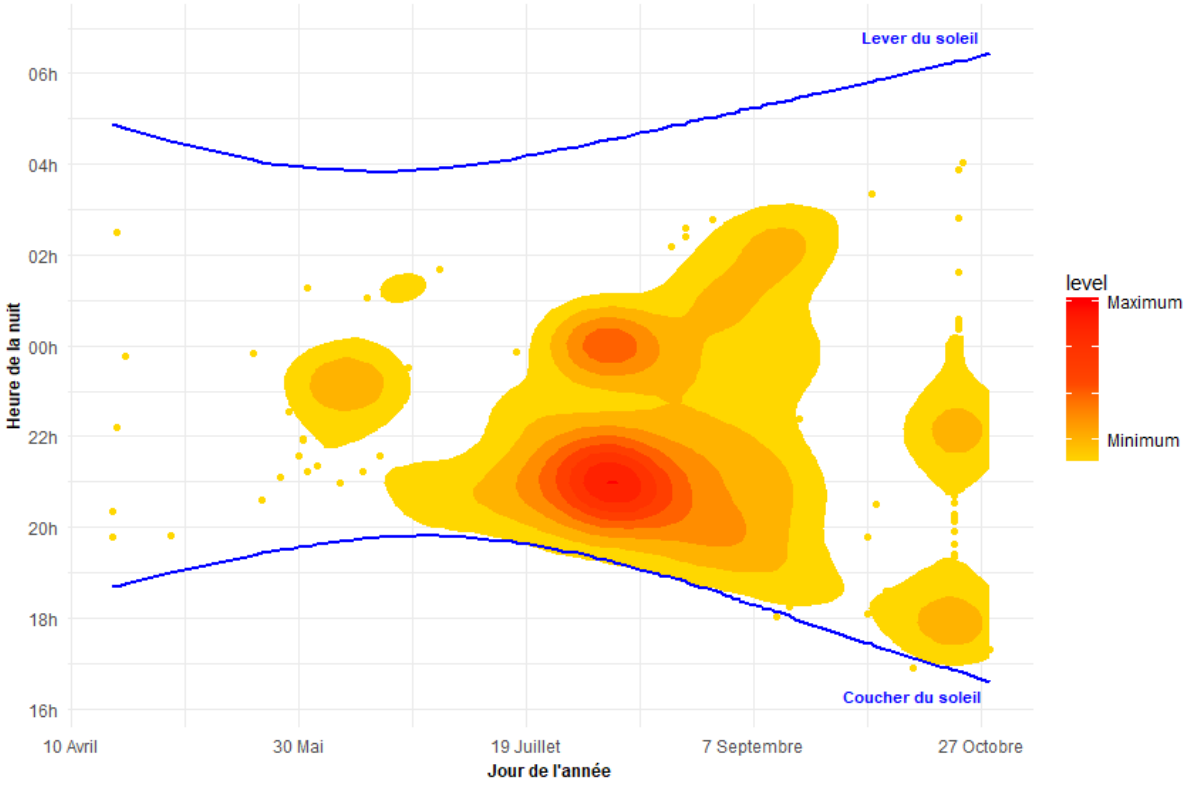


Figure 13 : Activité des chiroptères en fonction du cycle circadien (éolienne n°3)

Le carte de chaleur ci-dessus, représentant la répartition de l'activité sur l'éolienne 3, affiche une activité chiroptérologique concentrée sur les périodes estivale et automnale. En phase printanière, aucun pic n'est observable, seuls des contacts épars au cours de la nuit se dessinent.

La phase d'activité estivale illustre une activité en milieu de nuit au mois de juin, puis une activité en début de nuit au mois de juillet qui s'étend tout au long de la nuit jusqu'à mi-septembre. A cette saison une reprise d'activité est marquée en milieu de nuit entre fin-juillet et début-août.

La phase automnale, comme évoqué précédemment, affiche une activité du coucher du soleil jusqu'à deux heures avant le lever du soleil, soit presque toute la nuit de fin-aout à mi-septembre. Une seconde période d'activité est marquée en fin-octobre avec une concentration des contacts dans les deux premières heures de la nuit, suivi d'un regain d'activité vers le milieu de la nuit.

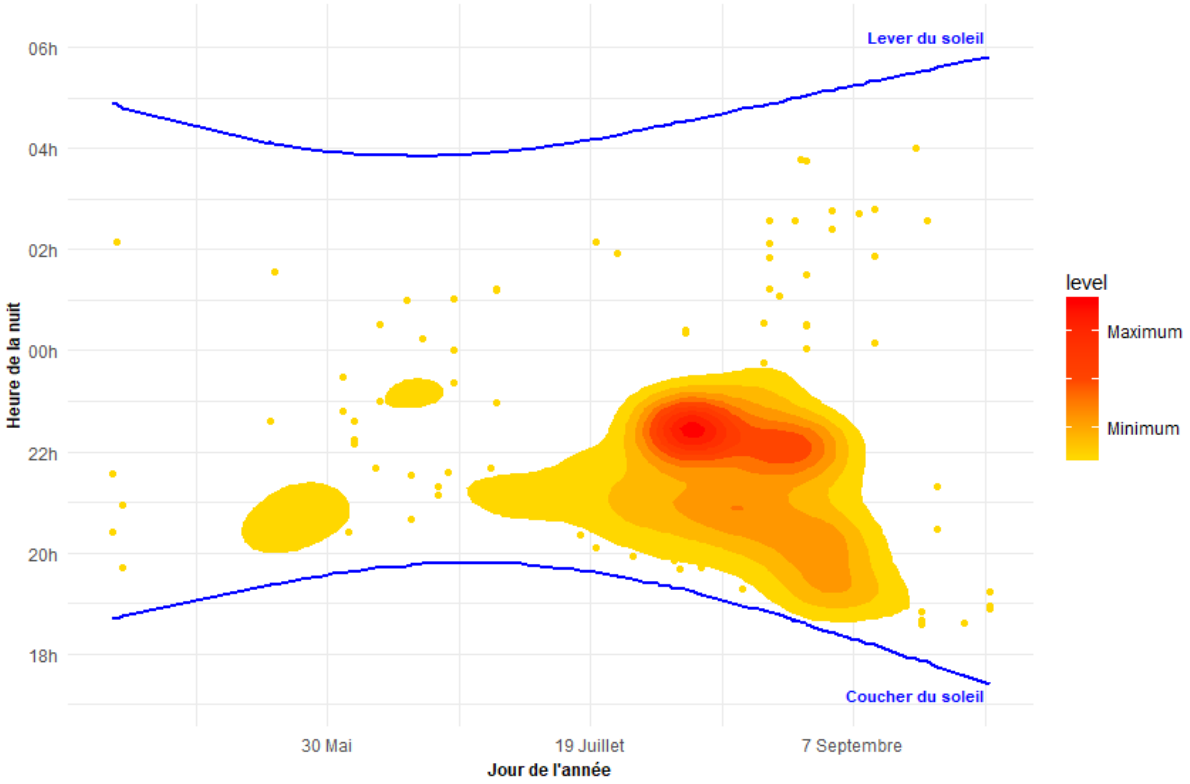


Figure 14 : Activité des chiroptères en fonction du cycle circadien (éolienne n°8)

La seconde carte de chaleur ci-dessus, représentant la répartition de l'activité sur l'éolienne 8, affiche une activité chiroptérologique concentrée en période automnale et dans une moindre mesure estivale. En phase printanière, vers fin-mai, une légère densification d'activité est observée en début de nuit, le reste des contacts étant plutôt épars au cours de la nuit.

La phase d'activité estivale présente, comme précédemment, une activité plus notable en milieu de nuit, au mois de juin. Puis en juillet et en août, l'activité s'étale des premières heures de la nuit jusqu'à minuit. Une forte densification de l'activité chiroptérologique s'établit entre 22 h et 23 h en août.

La phase automnale adopte le même schéma que la fin de la période estivale avec une activité s'étalant du début au milieu de nuit avec un maximum d'activité vers le milieu de nuit. Cette tendance s'étend jusqu'à début septembre où l'activité se concentre ensuite dans les deux premières heures de la nuit puis devient éparse.

Selon les données bibliographiques, il existe une baisse progressive du niveau d'activité au cours de la nuit. Cette baisse peut être accentuée par des facteurs limitants comme le début et la fin de la saison ou encore des températures froides. La chute d'activité intervient généralement dans les 3 à 4 heures après le coucher du soleil. Ainsi, les cartes de chaleur ci-dessus confirment en partie ces tendances, avec une **activité globalement concentrée dans les premières heures de la nuit et particulièrement marquée en période estivale et automnale.** Sur cette période, suite à cette première partie de nuit caractérisée par une activité chiroptérologique marquée, une diminution progressive du nombre de contacts est visible, probablement en lien avec le remplacement des espèces crépusculaires, telles que les pipistrelles et les sérotines, par des espèces plus nocturnes, suivi d'un regain d'activité. **Ces reprises d'activité en milieu de nuit, qui représentent parfois les maximums**

d'activité observés au cours de la nuit, sont connues notamment chez la Noctule commune qui affichent régulièrement deux à trois pics d'activité au cours de la nuit (Arthur et Lemaire, 2015 ; Rachwald, 1992 et Kronwitter, 1988).

Sur l'ensemble de la nuit, des contacts de chiroptères continuent à être détectés mais en moindre mesure.

L'activité chiroptérologique se concentre dans un premier temps sur les premières heures après le coucher du soleil et est suivie d'un regain en milieu de nuit. Cette activité en milieu de nuit est à relier avec le comportement de reprise d'activité de la Noctule commune. A partir de deux heures avant le lever du soleil, l'activité est très éparse.

Activité chiroptérologique en fonction de la température

Résultats obtenus sur l'ensemble de la période d'étude

La répartition du nombre de contacts en fonction des températures a été étudiée sur l'ensemble de la période suivie.

Si plusieurs auteurs concluent à une corrélation positive entre l'augmentation de la température et l'activité (Redell *et al.,* 2006 ; Arnett *et al.,* 2006, 2007 ; Baerwald and Barclay, 2011, etc.), d'autres ne considèrent pas ce paramètre comme un facteur influant sur l'activité chiroptérologique (Horn *et al.*, 2008 ; Kerns *et al.,* 2005). En outre, Arnett et al. (2006) ont observé qu'au-dessus de 44 mètres d'altitude, l'activité n'était en rien affectée par la température. Les opinions sur les autres paramètres météorologiques sont encore plus mitigées. La pression atmosphérique (Cryan and Brown, 2007 ; Cryan *et al.* 2014) et l'hygrométrie (Behr *et al.,* 2011) pourraient agir sur l'activité chiroptérologique. Il semble toutefois vraisemblable que ces paramètres jouent un rôle concomitant sur l'activité des chiroptères (ce qui serait aussi le cas de la température) comme le montrent Behr *et al.* (2011). Ce même phénomène est observé sur l'abondance d'insectes (Corten and Veldkamp, 2001), qui sont des proies pour les chauves-souris. Enfin, l'expérience tend à indiquer que l'importance de la température sur l'activité chiroptérologique fluctue en fonction des saisons.

Le graphique suivant présente parallèlement les occurrences de températures nocturnes enregistrées par l'éolienne à 138 mètres de hauteur et le nombre de contacts de chiroptères en fonction de ces températures.

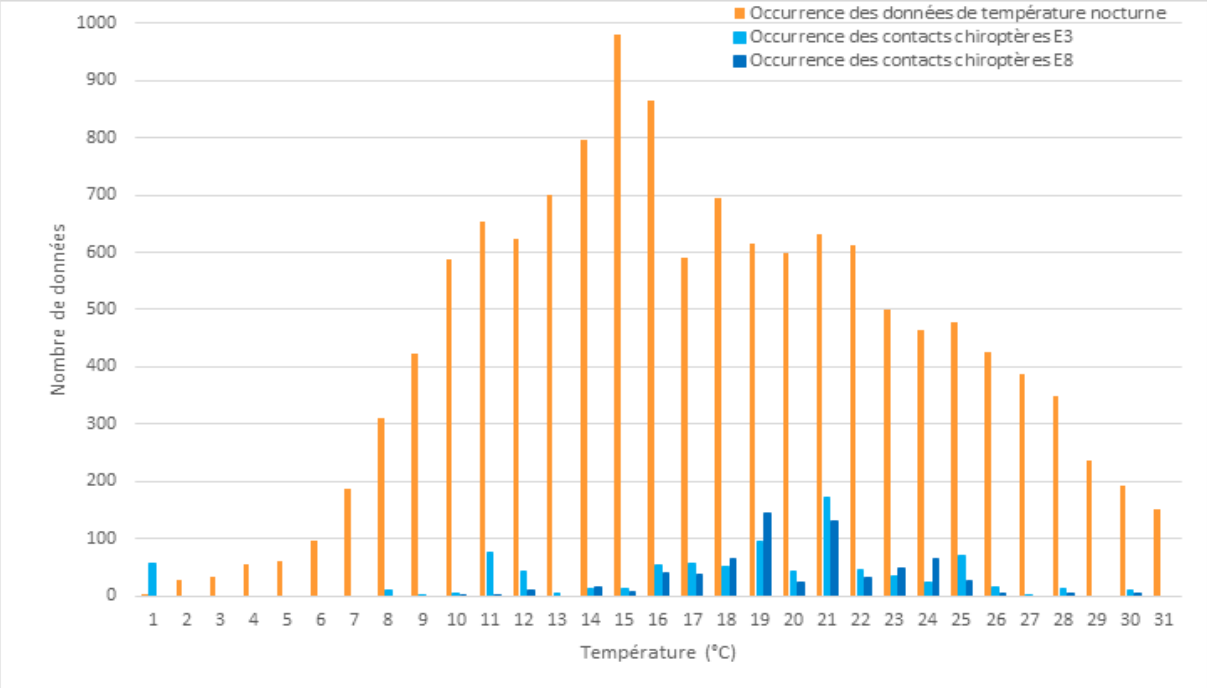


Figure 15 : Activité des chiroptères en fonction de la température

Résultats obtenus par analyse mensuelle

Les graphiques ci-après illustrent la répartition de l'activité mensuelle des chiroptères en fonction des températures.

L'analyse mensuelle de l'activité des chiroptères expose les mêmes tendances que celles observées sur l'ensemble du cycle, à savoir qu'un maximum d'activité est mesuré entre 16 et 25 °C.

Le mois d'octobre concentre cependant son activité chiroptérologique entre 8 et 14 °C. Ce dernier résultat n'est pas observable sur l'éolienne n°8 étant donné le dysfonctionnement matériel du système d'écoute qui a eu lieu sur cette période.

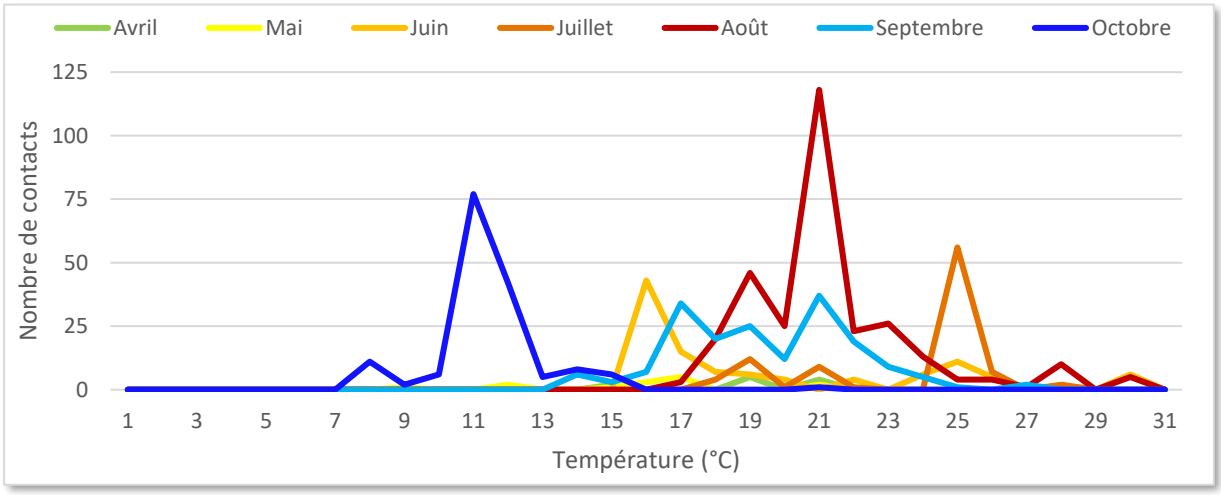


Figure 16 : Activité des chiroptères en fonction de la température par mois (éolienne n°3)

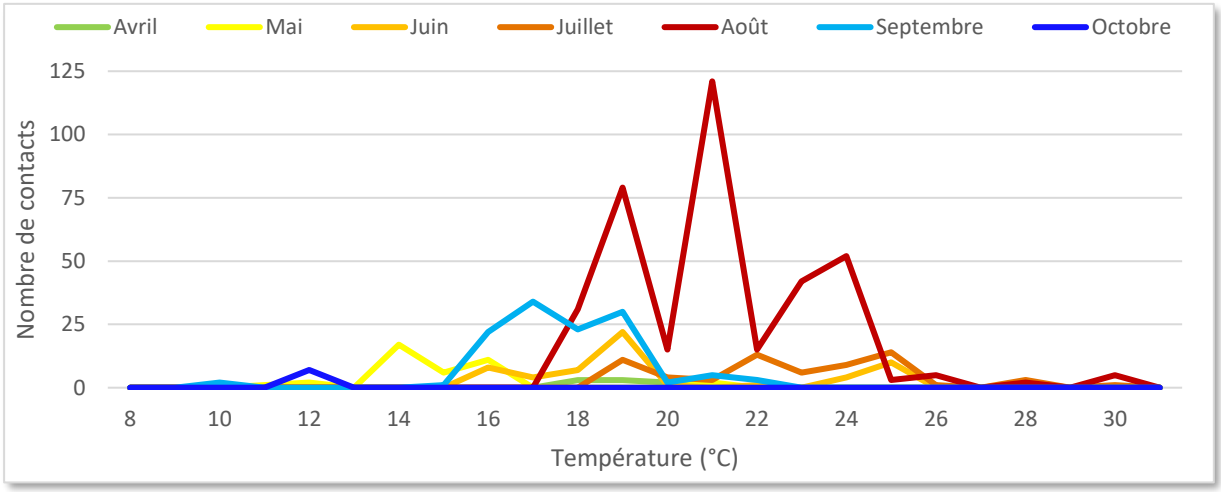


Figure 17 : Activité des chiroptères en fonction de la température par mois (éolienne n°8)

Les inventaires réalisés sur le site démontrent ainsi un décalage entre les distributions de l'activité chiroptérologique et les occurrences de températures enregistrées. Ainsi, les chiroptères semblent concentrer leur activité entre 16 et 25 °C, délaissant les plages de températures inférieures à 10 °C.

Activité chiroptérologique en fonction de la vitesse du vent

Résultats obtenus sur l'ensemble de la période d'étude

Le graphique suivant présente parallèlement les occurrences de vitesses de vent enregistrées par l'éolienne à 138 mètres de hauteur et le nombre de contacts enregistrés par tranche de vitesse de vent (tranche de 0,5 m/s).

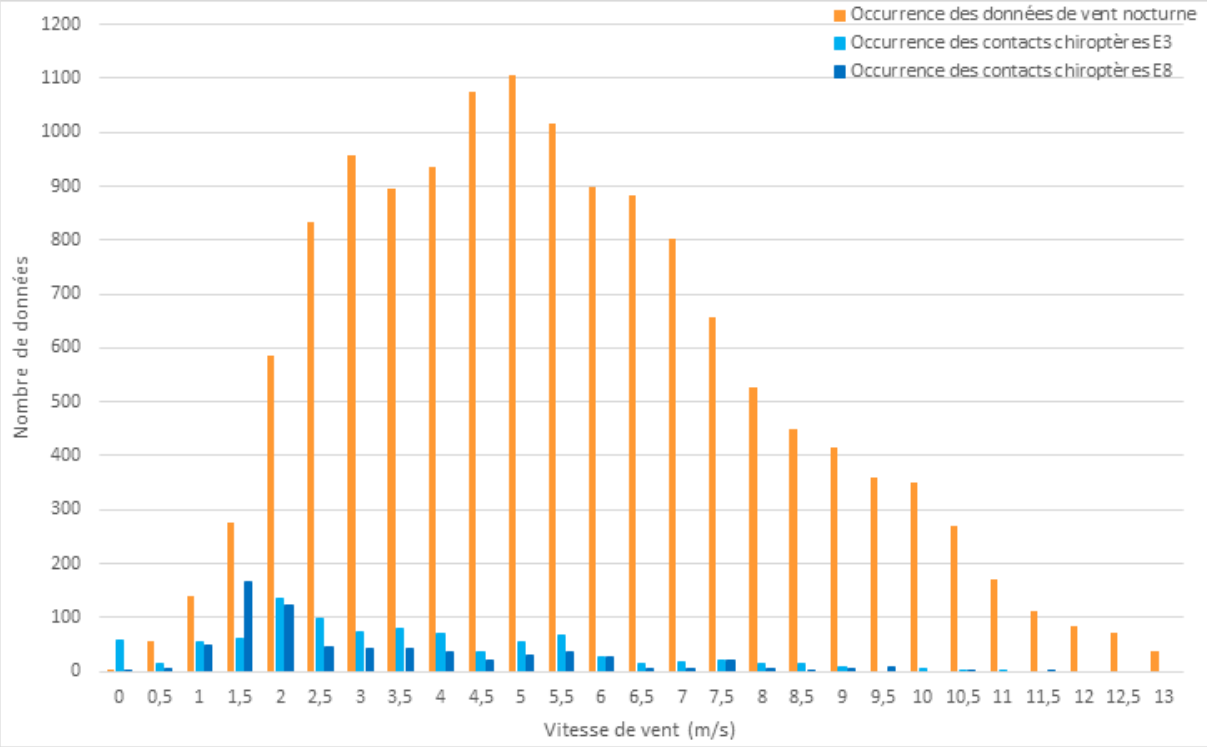


Figure 18 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent

Ce graphique illustre un décalage de l'activité chiroptérologique sous les vitesses de vent les plus faibles parmi la répartition des occurrences.

L'activité chiroptérologique s'étale sous des valeurs de vent comprises entre 0,5 et 11,5 m/s à 138 mètres. **Globalement, au-delà d'une vitesse de 5,5 m/s, le nombre de contacts reste faible.**

Généralement, les espèces de grande taille telles que les noctules, ont tendance à mieux supporter les vents forts que les petites espèces comme les pipistrelles. On le remarque ici par des valeurs de vents observées au-dessus des valeurs habituellement constatées pour des vols de chiroptères (de l'ordre de 5 à 6 m/s maximum), ce qui est dû à la forte proportion de ces espèces sur le site.

Résultats obtenus par analyse mensuelle

L'analyse mensuelle de l'activité des chiroptères expose les mêmes tendances que celles observées sur l'ensemble du cycle, à savoir qu'un maximum d'activité est mesuré entre 0 et 4 m/s de vitesse de vent à 138 mètres de hauteur.

Toutes proportions gardées entre les périodes qui n'ont pas le même nombre d'enregistrements, les vitesses de vent étant les plus favorables à l'activité chiroptérologique sont comprises entre 0 et 5,5 m/s.

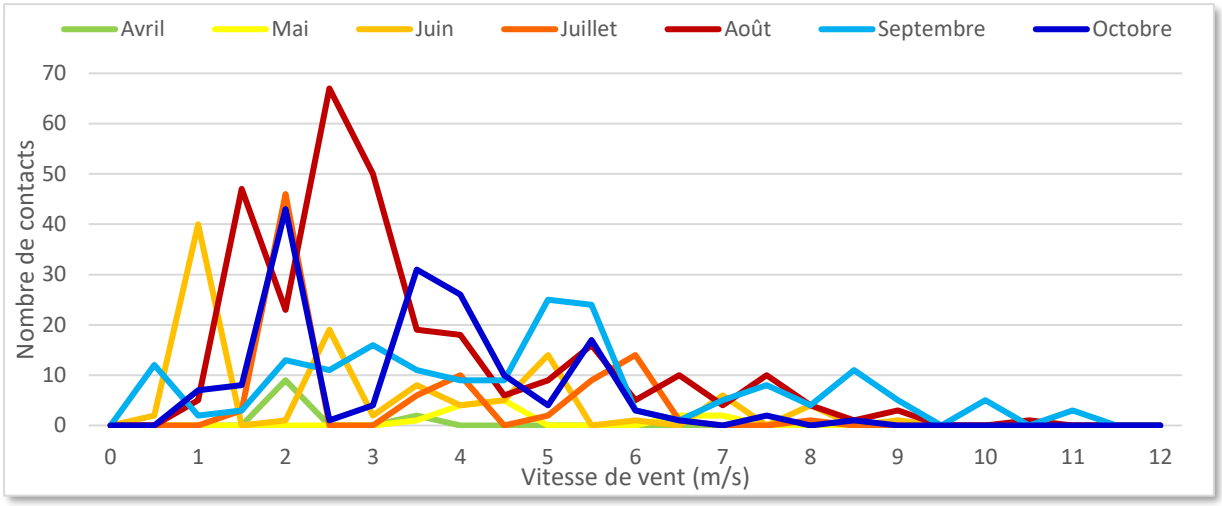


Figure 19 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent par mois (éolienne n°3)

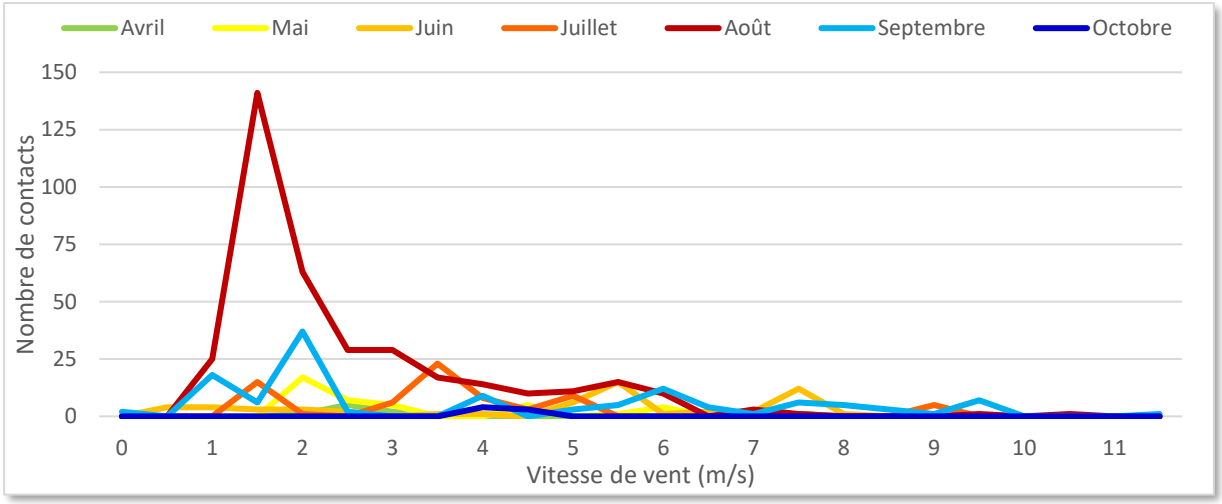


Figure 20 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent par mois (éolienne n°8)

Aucune tendance particulière n'apparait en termes de répartition mensuelle. Les vols sous des vitesses de vent les plus fortes ont été enregistrés durant les mois de juin, juillet, août et septembre. En début ou fin de saison d'activité, les chauves-souris semblent voler par des vitesses de vent inférieures à 5,5 m/s.

3.2.1.3 Synthèse des inventaires par détection automatique continue en nacelle

Au regard des analyses effectuées à partir des enregistrements en hauteur, les principaux éléments suivants sont à prendre en considération :

- la richesse spécifique est modérée pour une hauteur de 138 mètres, avec six espèces confirmées comprenant la Noctule commune, la Noctule de Leisler, la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Kuhl, la Pipistrelle de Nathusius et la Sérotine commune.

- est à considérer la très forte proportion de Noctule commune et de Noctule de Leisler, espèces les plus contactées.

- le nombre de contacts varie selon les phases biologiques. 25 contacts ont été enregistrés en transits printaniers soit 2,7 % de l'activité annuelle. Par la suite, 409 contacts ont été recensés durant la phase de mise-bas et d'élevage des jeunes, soit 44,6 % des contacts totaux. Durant la phase de transits automnaux et de swarming, 485 contacts ont été enregistrés, soit 52,7 % des contacts totaux. Ainsi, l'activité est assez similaire entre les deux dernières phases d'activité. Le mois d'août affiche le maximum d'activité chiroptérologique, suivi par les mois de septembre et d'octobre.

- l'activité chiroptérologique se concentre sur les premières heures de la nuit, suivi par un regain d'activité marqué en milieu de nuit, certainement lié à la forte présence de Noctule commune. A partir de deux heures avant le lever du soleil, l'activité est très éparse.

- l'activité chiroptérologique est principalement enregistrée sous des températures comprises entre 16 à 25 °C et sous des vents inférieurs à 5,5 m/s à 138 mètres de hauteur.

3.2.2 Comparaison qualitative et quantitative avec l'étude d'impact initiale

Au total, 14 espèces de chauves-souris ont été recensées de manière certaine sur le site au travers de ces différentes études (tableau suivant). Cette grande richesse spécifique est le résultat des données bibliographiques associées à des campagnes de terrain dans le périmètre rapproché du site.

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Présence selon les études	
		Étude d'impact de 2012[1]	Suivis post-implantation 2019
Barbastelle d'Europe	*Barbastellus barbastellus*	X	
Grand Murin	*Myotis myotis*	X	
Grand Rhinolophe	*Rhinolophus ferrumequinum*	X	
Murin de Natterer	*Myotis nattereri*	X	
Murin à oreilles échancrées	*Myotis emarginatus*	X	
Noctule commune	*Nyctalus noctula*		X
Noctule de Leisler	*Nyctalus leisleri*		X
Oreillard gris	*Plecotus austriacus*	X	
Oreillard roux	*Plecotus auritus*	X	
Petit Rhinolophe	*Rhinolophus hipposideros*	X	
Pipistrelle commune	*Pipistrellus pipistrellus*	X	X
Pipistrelle de Kuhl	*Pipistrellus kuhlii*		X
Pipistrelle de Nathusius	*Pipistrelle de nathusii*		X
Sérotine commune	*Eptesicus serotinus*	X	X
Total des espèces	**14**	**10**	**6**
: espèce présente durant les deux périodes d'études			

Tableau 7 : Résultats de la richesse spécifique en fonction des études menées sur le site

L'étude d'impact de 2012, incluant les résultats des inventaires chiroptérologiques, a permis d'inventorier 10 espèces de façon certaine à l'échelle du périmètre rapproché, contre 6 pour les inventaires de 2019 à hauteur de nacelle d'éolienne. Deux des six espèces sont communes aux deux périodes d'inventaires mais il est important de considérer qu'il ne s'agit pas des mêmes protocoles (au sol pour 2012 et en hauteur en 2019).

Ceci témoigne d'une richesse spécifique globale modérée. De plus, deux espèces, la Pipistrelle commune et la Sérotine commune, sont présentes durant chacune des phases inventoriées, ce qui atteste de leur occupation régulière du site. Ces espèces sont parmi les plus communes en Europe. La majorité des espèces inventoriées en hauteur ne l'ont pas été lors de l'étude d'impact. S'ajoute ainsi, la Pipistrelle de Kuhl, la Pipistrelle de Nathusius, la Noctule commune et la Noctule de Leisler. De plus, ces deux dernières espèces sont les espèces les plus contactées en hauteur.

[1] Intervent, 2012

Parmi les espèces contactées, les cortèges de lisières sont plus présents en 2012 avec les protocoles effectués au sol (Murin de Natterer, Murin à oreilles échancrées, oreillards, rhinolophes, etc.) contre davantage d'espèces d'altitude avec le protocole d'écoute de 2019 réalisé en nacelle (noctules, Sérotine commune et pipistrelles).

Au vu des différents protocoles mis en place durant les deux études, il apparaît donc ici une certaine cohérence dans les cortèges présents entre les résultats de l'étude d'impact de 2012 et les cortèges observés lors des inventaires de la première année de suivi en nacelle post-implantation de 2019.

La synthèse de l'état initial de l'étude d'impact de 2012 du parc éolien de Pougny stipule un faible cortège d'espèces sensibles à l'impact ou déjà retrouvées mortes sous des aérogénérateurs. Parmi ces espèces, les deux espèces communes aux deux études de 2009 et 2019 sont citées. Cependant, plusieurs espèces sensibles à l'éolien ont été inventoriées lors des inventaires de 2019, notamment les noctules.

Les résultats présentés dans ce rapport démontrent que ce cortège de haut vol est bien présent sur le site en 2019. Les analyses d'activité dévoilent la présence de contacts au mois de septembre pouvant résulter d'une activité migratrice.

Le cortège des espèces de haut-vol, sensibles à l'éolien, est toujours présent et est, par ailleurs, caractérisé comme étant plus diversifié en raison d'un protocole d'inventaire différent, spécifique à ces espèces (écoute en nacelle d'éolienne à 138 mètres de hauteur). Au vu de la concordance des résultats de l'étude d'impact avec ceux de la présente étude, ce site est toujours fréquenté par les chiroptères. Cependant, il est impossible d'évaluer la présence d'un impact sur la fréquentation du site par les populations locales (protocoles différents).

Partie 4 : Résultats et analyse du suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères

4.1 Résultats des tests et paramétrage des méthodes d'estimation

Pour rappel, la durée moyenne de l'intervalle est de : I = 7,42 jours

4.1.1 Efficacité du chercheur

Le test de détection a pour but de déterminer l'efficacité du chercheur afin d'inclure ce paramètre dans l'estimation de la mortalité. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Test	Date	Nombre de cadavres déposés (d_T)	Nombre de cadavres trouvés (d_t)
Test 1	25 juin 2019	51	45
Test 2	10 septembre 2019	75	64
Total	2019	126	109

Tableau 8 : Résultats des tests de détection

L'efficacité du chercheur est de : d = 0,76

4.1.2 Persistance des cadavres

Le test de prédation a pour but de déterminer le taux de persistance des cadavres lié notamment au prélèvement par les charognards. Ce paramètre est ensuite inclus dans l'estimation de la mortalité. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Test	Date	Nombre de cadavres déposés	Nombre de cadavres restant à J+1	Nombre de cadavres restant à J+3	Nombre de cadavres restant à J+6	Nombre de cadavres restant à J+10	Nombre de cadavres restant à J+13	Nombre de cadavres restant à J+15
Test 1	Juin 2019	51	12	5	3	3	2	0
Test 2	Septembre 2019	75	26	0	0	0	0	0
Total	2019	126	38	5	3	3	2	0

Tableau 9 : Résultats des tests de prédation

Le taux de prédation est de : z = 0,96

La durée moyenne de persistance des cadavres est de : t = 1,92

4.1.3 Surfaces prospectées et correction surfacique

La correction surfacique appliquée à l'estimation de la mortalité est calculée d'après les surfaces prospectées sur le terrain (tableau suivant). Celle-ci varie ainsi au cours du suivi en fonction de l'occupation des sols et de leur gestion. Pour rappel, la surface théorique de prospection est de 10 000 m². **La correction surfacique moyenne sur l'ensemble du parc et des prospections est de : A = 2,33.**

Prospection	Date	Surface prospectée / éolienne (m)											Moyenne sur l'ensemble du parc	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Surface prospectée (m)	A (Surface théorique / Surface prospectée)
1	20/05/2019	5000	5000	2500	10000	5000	10000	7500	7500	2500	2500	7500	**5909**	**1,69**
2	27/05/2019	5000	5000	2500	10000	5000	10000	7500	7500	2500	2500	7500	**5909**	**1,69**
3	03/06/2019	5000	5000	2500	10000	5000	10000	7500	7500	2500	2500	7500	**5909**	**1,69**
4	11/06/2019	5000	5000	2500	10000	5000	10000	7500	7500	2500	2500	7500	**5909**	**1,69**
5	17/06/2019	5000	5000	2500	10000	5000	10000	7500	7500	2500	2500	7500	**5909**	**1,69**
6	25/06/2019	5000	5000	2500	10000	5000	10000	7500	7500	2500	2500	7500	**5909**	**1,69**
7	01/07/2019	5000	5000	2500	10000	5000	10000	7500	7500	2500	2500	7500	**5909**	**1,69**
8	08/07/2019	5000	5000	2500	10000	5000	10000	7500	7500	2500	2500	7500	**5909**	**1,69**
9	16/07/2019	5000	5000	2500	10000	5000	10000	7500	7500	2500	2500	7500	**5909**	**1,69**
10	23/07/2019	5000	5000	2500	10000	5000	10000	7500	7500	2500	2500	7500	**5909**	**1,69**
11	01/08/2019	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	**2500**	**4,00**
12	05/08/2019	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	**5000**	**2,00**
13	12/08/2019	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	**2500**	**4,00**
14	19/08/2019	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	**2500**	**4,00**
15	26/08/2019	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	**2500**	**4,00**
16	11/09/2019	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	**2500**	**4,00**
17	16/09/2019	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	**2500**	**4,00**
18	23/09/2019	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	**2500**	**4,00**
19	30/09/2019	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	**2500**	**4,00**
20	08/10/2019	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	**2500**	**4,00**
Moyenne sur l'ensemble des prospections	**Surface prospectée (m)**	**3875**	**3875**	**2625**	**6375**	**3875**	**6375**	**5125**	**5125**	**2625**	**2625**	**5125**		
	A (Surface théorique / Surface prospectée)	**2,58**	**2,58**	**3,81**	**1,57**	**2,58**	**1,57**	**1,95**	**1,95**	**3,81**	**3,81**	**1,95**		

Tableau 10 : Synthèse des surfaces prospectées et des facteurs de correction surfacique associés

L'occupation des sols des quadrats prospectés pour chaque éolienne a été cartographiée (Annexe 5).

4.2 Mortalité de l'avifaune

4.2.1 Bilan des connaissances sur la mortalité de l'avifaune liée à l'éolien

4.2.1.1 Les principaux facteurs de mortalité de l'avifaune

A l'exception des parcs éoliens denses et situés dans des zones particulièrement riches en oiseaux, la mortalité par collision est généralement faible par rapport aux autres activités humaines (tableau suivant). Le taux de mortalité varie selon les parcs de 0 à 60 oiseaux par éolienne et par an (Programme « Éolien Biodiversité » - parcs européens). Ces chiffres dépendent de la configuration du parc éolien, du relief, de la densité des oiseaux qui fréquentent le site, des caractéristiques topographiques et paysagères (présence de voies de passage, de haies, de zones d'ascendance thermique) et des caractéristiques des oiseaux. A titre de comparaison, le réseau routier serait responsable de la mort de 30 à 100 oiseaux par km/an et le réseau électrique de 40 à 120 oiseaux par km/an.

Cause de mortalité	Commentaires
Ligne électrique haute tension (> 63 kV)	80 à 120 oiseaux/km/an (en zone sensible) ; réseau aérien de 100 000 km
Ligne moyenne tension (20 à 63 kV)	40 à 100 oiseaux/km/an (en zone sensible) ; réseau aérien de 460 000 km
Autoroute, route	Autoroute : 30 à 100 oiseaux/km/an ; réseau terrestre de 10 000 km
Chasse (et braconnage)	Plusieurs millions d'oiseaux chaque année
Agriculture	Evolution des pratiques agricoles, pesticides, drainage des zones humides.
Urbanisation	Collision avec les bâtiments (baies vitrées), les tours et les émetteurs.
Eoliennes	0 à 10 oiseaux / éolienne / an ; 2456 éoliennes en 2008, environ 10000 en 2020

Tableau 11 : Cause de mortalité des oiseaux
(Guide de l'étude d'impact des parcs éoliens 2010, à partir de données de la LPO, AMBE)

Les espèces interagissent différemment face à un parc éolien :

- les espèces plus sensibles à l'effarouchement (limicoles, anatidés, grues, etc.), sont plus méfiantes vis-à-vis des éoliennes en mouvement et par conséquent moins sensibles au risque de collision ;

- les espèces moins farouches sont potentiellement plus sensibles à la mortalité par collision avec les pales (milans, buses, Faucon crécerelle, busards, martinets, hirondelles, etc.).

Situations et facteurs risques

De manière générale, certaines situations peuvent accroître les risques de collision. Les principaux critères sont :

- les hauteurs et types de vol des espèces,
- le comportement de chasse pour les rapaces,
- les phénomènes de regroupement d'espèces en migration, notamment pour les migrateurs nocturnes,
- les conditions de brouillard ou de nuages bas et les vents forts de face.

Sensibilité et vulnérabilité des espèces

Il est possible de calculer un **indice de sensibilité** des espèces d'oiseaux vis-à-vis du risque de collision en se basant sur les cas de mortalité recensés en Europe (Dürr, 2019) et sur l'abondance des espèces (BirdLife International, 2017). Un niveau de sensibilité de 0 à 4 a ainsi été attribué à chaque espèce européenne. A la suite de cette analyse, trois rapaces ont été définis comme les plus sensibles (niveau 4). Il s'agit du Vautour fauve, du Milan royal et du Pygargue à queue blanche. Treize espèces dont le Circaète Jean-le-Blanc, le Milan noir, le Grand-duc d'Europe, le Balbuzard pêcheur, le Faucon pèlerin et le Faucon crécerelle atteignent le niveau de sensibilité 3.

Un **indice de vulnérabilité** peut être calculé en fonction de la sensibilité au risque de collision et du statut UICN national. Ceci est détaillé dans la figure suivante, issue du « Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres » de novembre 2015.

Indice de vulnérabilité de l'état de conservation des espèces

IV. Enjeux de conservation	III. Sensibilité à l'éolien				
	0	1	2	3	4
Espèce non protégée	0.5				
DD, NA, NE =1	0,5	1	1,5	2	2,5
LC = 2	1	1,5	2	2,5	3
NT = 3	1,5	2	2,5	3	3,5
VU = 4	2	2,5	3	3,5	4
CR-EN = 5	2,5	3	3,5	4	4,5

DD : Données insuffisantes, **NA :** Non applicable, espèce non soumise à l'évaluation car : introduite après l'année 1500 ; présente de manière occasionnelle ou marginale et non observée chaque année en métropole ; régulièrement présente en hivernage ou en passage mais ne remplissant pas les critères d'une présence significative ; ou régulièrement présente en hivernage ou en passage mais pour laquelle le manque de données disponibles ne permet pas de confirmer que les critères d'une présence significative sont remplis, **NE :** Non évaluée : espèce n'ayant pas été confrontée aux critères de l'UICN, **LC** : préoccupation mineure (espèce pour laquelle le risque de disparition de France est faible), **NT** : quasi menacée (espèce proche du seuil des espèces menacées ou qui pourrait être menacée si des mesures de conservation spécifiques n'étaient pas prises), **VU** : vulnérable, **EN** : en danger, **CR** : en danger critique

Figure 21 : « Indice de vulnérabilité de l'état de conservation des espèces » (Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, novembre 2015)

Espèces les plus impactées

Les rapaces et migrateurs nocturnes (roitelets, martinets etc.) sont des espèces généralement considérées comme les plus exposées au risque de collision (« Impact des éoliennes sur les oiseaux », ONCFS, 2014).

Certains rapaces, en particulier les espèces à tendance nécrophage tels les milans, la Buse variable ou encore les busards, peuvent être attirés sur les parcelles cultivées lors des travaux agricoles (notamment la fauche des prairies au printemps et les moissons en été) et par l'ouverture des milieux liée au défrichement.

Pendant les migrations, les impacts semblent survenir plus particulièrement la nuit. Les espèces qui ne migrent que de jour (rapaces, cigognes, fringilles, etc.) ont le plus souvent la possibilité d'adapter leurs trajectoires à distance. En effet, comme cela a été démontré dans l'étude d'Abies (2002), 88 % des oiseaux changent leur trajectoire à la vue des éoliennes. Ces comportements d'anticipation participent à la réduction des situations à risques.

4.2.1.2 Bilan national de la mortalité de l'avifaune

Le bilan suivant s'appuie sur le rapport « Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune, LPO, 2017 ».

En France, 5 156 éoliennes étaient déjà construites et en fonctionnement en avril 2016, et 1 017 autres ont obtenu un permis de construire et d'exploitation. Les parcs en France ont en moyenne 7,7 machines d'une hauteur moyenne de 139 mètres en bout de pale. Sur l'ensemble des éoliennes seulement 645 ont fait l'objet d'un suivi de la mortalité soit 12,5% des éoliennes en France.

Parmi les suivis réalisés, seuls 80% ont été effectués sur une surface d'au moins 1 ha. Le nombre de prospections est variable, allant d'un passage à l'année à plusieurs passages par semaine tout au long de l'année. Au total 37 839 prospections ont été réalisées, le plus souvent au printemps, en été et en automne.

D'un point de vue qualitatif (Annexe 2 et figure suivante), les groupes d'espèces les plus impactés par ordre décroissant sont les Passereaux, puis, les Rapaces, les Laridés et enfin les Apodiformes dont, notamment, le Martinet noir.

En France, les espèces les plus impactées sont les suivantes : le Roitelet à triple bandeau, le Martinet noir, le Faucon crécerelle, l'Alouette des champs, la Buse variable, la Mouette rieuse, l'Étourneau sansonnet et le Rougegorge familier (Dürr, 2019).

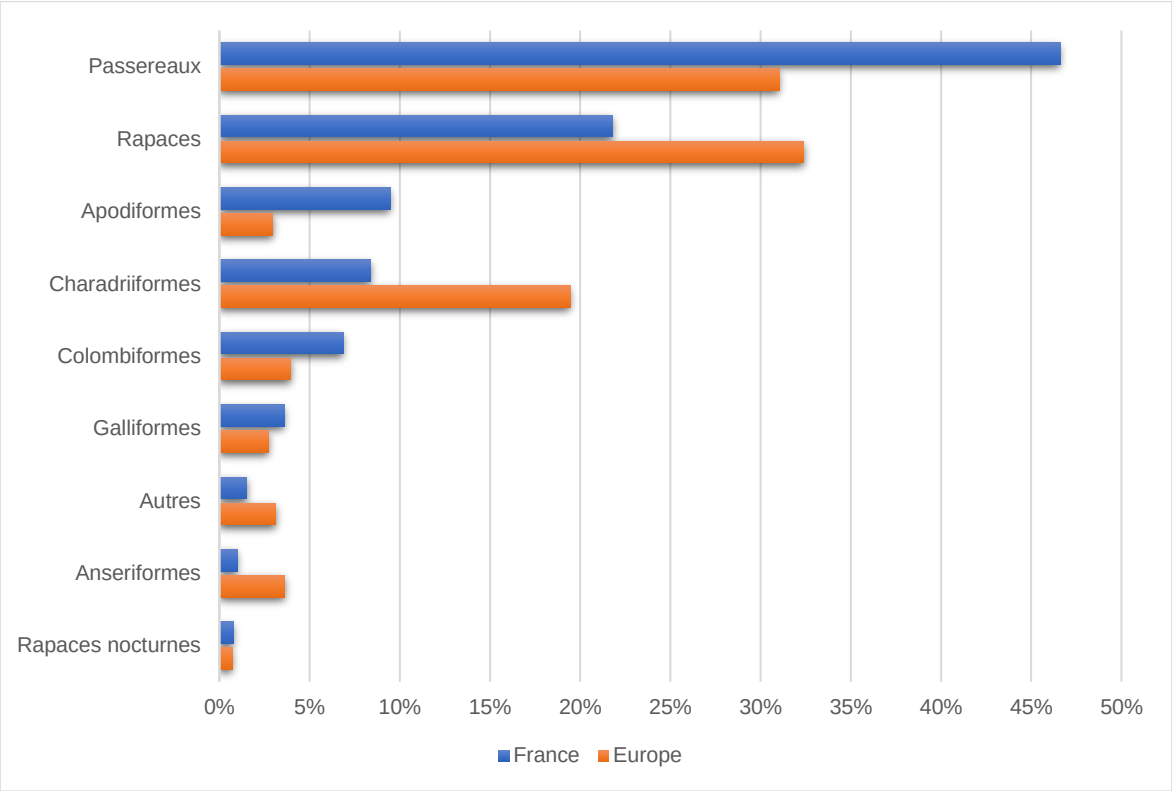


Figure 22 : Pourcentage de cas de collision avec les éoliennes en fonction de l'espèce en France et en Europe (Dürr, 2019)

Au total, 31 parcs possèdent un suivi acceptable (au moins 26 semaines de suivi avec un passage par semaine). Lors de ces suivis, 485 cadavres ont été découverts sur 189 éoliennes soit environ 1,24 oiseau/éolienne/an.

Sur 9 parcs ayant fait l'objet d'un suivi plus robuste (au moins une sortie par semaine pendant 48 semaines lors d'une année, sur une surface d'au moins 50 mètres autour de l'éolienne), 293 cadavres d'oiseaux ont été dénombrés pour 49 éoliennes, soit un ratio de 2,15 oiseaux/éolienne/an. Remarque : « […] les 9 parcs évoqués ci-dessus se trouvent soit en ZPS (pour 5 d'entre eux) soit à proximité immédiate (476 m, 574 m, 1 027 m et 1 874 m de la ZPS la plus proche) […] ». Ainsi en fonction des parcs et des suivis, la **mortalité brute varie entre 1,24 à 2,15 oiseaux/éolienne/an.**

Pour finir, 8 parcs ont fait l'objet d'estimation selon les 4 méthodes préconisées soit 1,38% des éoliennes françaises. Ces parcs possèdent tous une sensibilité : proximité d'une ZPS, de forêts de feuillus ou présence d'une mosaïque de milieux. Les estimations sont comprises entre 0,3 et 26,8 oiseaux/éolienne/an. Cependant, une fois exclu des calculs un parc comprenant une forte mortalité de pigeons (présence d'un silo à grain à proximité), la **mortalité estimée est de 0,3 à 7,6 oiseaux/éolienne/an, soit une moyenne de 4,2 et une médiane de 3,6.**

4.2.2 Résultats globaux du suivi de l'avifaune

4.2.2.1 Mortalité brute

Résultats sur le parc de Pougny

Sur le parc de Pougny, **3 cadavres d'oiseaux** ont été retrouvés. Il s'agit d'**un Pigeon ramier**, trouvé le 27 mai et de **deux Bruants proyers** trouvés le 23 juillet. Cela représente une mortalité brute de **0,27 cadavre/éolienne** durant la période de suivi s'étalant de mi-mai à mi-octobre, soit 20 sorties à raison d'une sortie par semaine. Cette mortalité brute est équivalente à **0,014 cadavre/éolienne/sortie**.

Comparaison de la mortalité brute avec celles d'autres parcs éoliens

Le tableau suivant synthétise les caractéristiques et les résultats bruts de plusieurs parcs français repris par la LPO (Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune, 2017) et les compare avec ceux du parc de Pougny.

Parc éolien	Nombre d'éoliennes	Nombre de mois de suivi	Nombre de prospections par semaine	Surface théorique prospectée (ha)	Mortalité brute observée	Nombre de cadavres/éolienne/sortie
Bouin 2004 (85)	8	12	1	1	22	0,053
Bouin 2005 (85)		12	1	1	15	0,036
Bouin 2006 (85)		12	1	1	23	0,055
Benet 2008 (85)	5	12	1	1	14	0,054
Benet 2009 (85)		12	1	1	3	0,012
Le Bernard 2008 (85)	5	12	1	1	9	0,035
Le Bernard 2009 (85)		12	1	1	6	0,023
Le Bernard 2010 (85)		12	1	1	9	0,035
Le Bernard 2011 (85)		12	1	1	8	0,031
Mas de Leuze 2009 (13)	9	8,5	1,65	1	15	0,03
Mas de Leuze 2011 (13)	8	3	2,4	0,5	13	0,058
Mas de Leuze 2012 (13)		3	2,4	0,5	11	0,049
Pougny (58)	**11**	**5**	**1**	**1**	**3**	**0,014**

Tableau 12 : Comparaison de la mortalité brute entre le parc de Pougny et d'autres parcs en France (LPO, 2017)

La mortalité brute observée par éolienne et par sortie est bien inférieure à la moyenne des études menées sur les parcs retenus pour la comparaison (figure suivante).

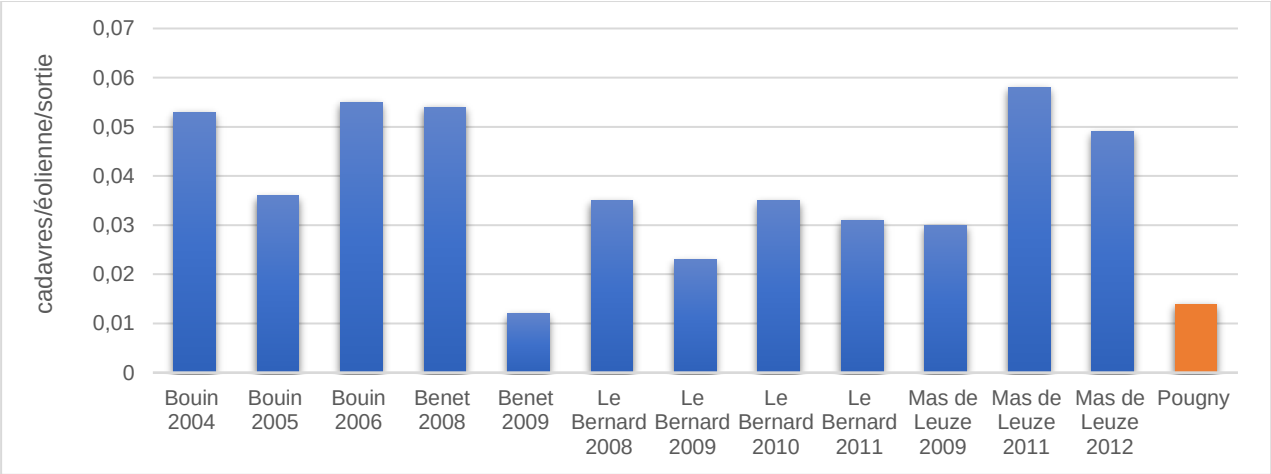


Figure 23 : Mortalité brute par éolienne par sortie en fonction des parcs retenus pour comparaison (LPO, 2017)

Avec 0,014 cadavre/éolienne/sortie, la mortalité brute de l'avifaune sur le parc de Pougny fait partie des plus basses enregistrées parmi les parcs éoliens français utilisés pour comparaison.

4.2.2.2 Mortalité estimée

Résultats sur le parc de Pougny

Le tableau suivant compile les résultats de mortalité estimée pour l'ensemble du parc éolien sur la période de suivi par les différentes méthodes retenues. Un indicateur de fiabilité est attribué à ces résultats en fonction des méthodes utilisées.

Méthodes	Parc	Fiabilité
Winkelmann	8,34	Faible
Erickson	30,95	Moyenne
Jones	92,81	Élevée
Huso	31,61	
Korner	41,37	
Etterson	41,75	

Tableau 13 : Estimation de la mortalité de l'avifaune pour l'ensemble du parc de Pougny sur la période de suivi selon les méthodes utilisées

Selon les quatre méthodes les plus fiables (Jones, Huso, Korner et Etterson), les estimations varient de **32 à 93 oiseaux** tués sur l'ensemble du parc durant la période de suivi. Les estimations de Winkelmann et d'Erickson sont respectivement de 8 et 31 individus.

La moyenne des quatre estimations les plus fiables est de 51,89 cadavres pour l'ensemble du parc sur la période de suivi.

La mortalité estimée (n = 51,89) est très élevée en comparaison de la mortalité brute (n = 3). En effet, **les paramètres correcteurs ont ici un impact fort**. C'est notamment le cas pour les valeurs correctives liées à la persistance des cadavres, qui reflète une **forte prédation** sur le parc de Pougny. En outre, la correction surfacique est assez élevée étant donné le **grand nombre de zones non prospectables** autour des éoliennes, dues notamment à la présence des cultures. Il est important de considérer le fait que ces deux éléments **réduisent la précision de l'estimation.**

Le tableau suivant présente les résultats équivalents par éolienne et extrapolés sur l'année. Étant données les différences d'activité de l'avifaune en hiver, partie de l'année qui n'a pas fait l'objet d'un suivi, il est évident qu'une **extrapolation sur l'année** ne puisse pas apporter de résultats précis. Ainsi, ceux-ci sont potentiellement surestimés. Ces résultats sont présentés ici dans un objectif de comparaison avec les mortalités estimées sur d'autres parcs mais **doivent être interprétés avec précaution**.

	Sur la période de suivi (20 semaines)	Extrapolation sur une année
Pour l'ensemble du parc	51,89	135,28
Par éolienne	4,72	12,30

Tableau 14 : Équivalence de l'estimation de la mortalité par éolienne et extrapolation sur l'année sur le parc de Pougny

Comparaison de la mortalité estimée avec celles d'autres parcs éoliens

Afin de mieux rendre compte des résultats estimés sur le parc de Pougny, une comparaison est effectuée avec trois autres parcs au cours de plusieurs années (tableau suivant).

Parc éolien	Surface théorique prospection	Mortalité brute observée	Estimation (oiseaux/éolienne/an)			
			Huso	Jones	Erickson	Winkelmann
Bouin 2004 (85)	1 ha	22	8	7,9	3,8	11,8
Bouin 2005 (85)	1 ha	15	6	6,2	3,7	7
Bouin 2006 (85)	1 ha	23	8,2	9,7	6,4	6
Benet 2008 (85)	1 ha	14	5	5,3	3,6	5,2
Benet 2009 (85)	1 ha	3	1	1,1	0,8	0,9
Le Bernard 2008 (85)	1 ha	9	4,	4,6	3	5,6
Le Bernard 2009 (85)	1 ha	6	3,5	3,6	2,3	3,3
Le Bernard 2010 (85)	1 ha	9	4	4,1	2,8	3
Le Bernard 2011 (85)	1 ha	8	3,7	3,9	2,8	4
Pougny (58)	**1 ha**	**3**	**7,49**	**22,00**	**7,34**	**1,98**

Tableau 15 : Comparaison des mortalités estimées entre le parc de Pougny et d'autres parcs en France (LPO, 2017)

Les mortalités estimées et extrapolées sur l'année pour le parc de Pougny sont globalement supérieures aux moyennes des mortalités estimées sur les autres parcs utilisés pour comparaison (figure suivante). En outre, le rapport de la LPO en juin 2017 mentionne, en se basant sur les résultats de huit parcs, une mortalité estimée entre 0,3 à 7,6 oiseaux/éolienne/an, soit une moyenne de 4,2 oiseaux/éolienne/an (moyenne des estimations de Huso, Jones, Erickson et Winkelmann). Si cette moyenne est issue d'un échantillon relativement restreint par rapport à l'ensemble des parcs éoliens français, elle permet tout de même d'apporter une base de comparaison. Ainsi, cette valeur est inférieure (d'environ un facteur 2) à l'estimation moyenne obtenue sur le parc de Pougny. Compte tenu de la faible mortalité brute observée, qui est par ailleurs plus faible que sur les autres parcs pris pour comparaison, l'impact fort des paramètres correcteurs (persistance des cadavres et surfaces prospectées) est ici nettement observable. Cette comparaison reste, bien entendu, à prendre avec précaution étant donné le faible nombre de données issues du rapport de la LPO.

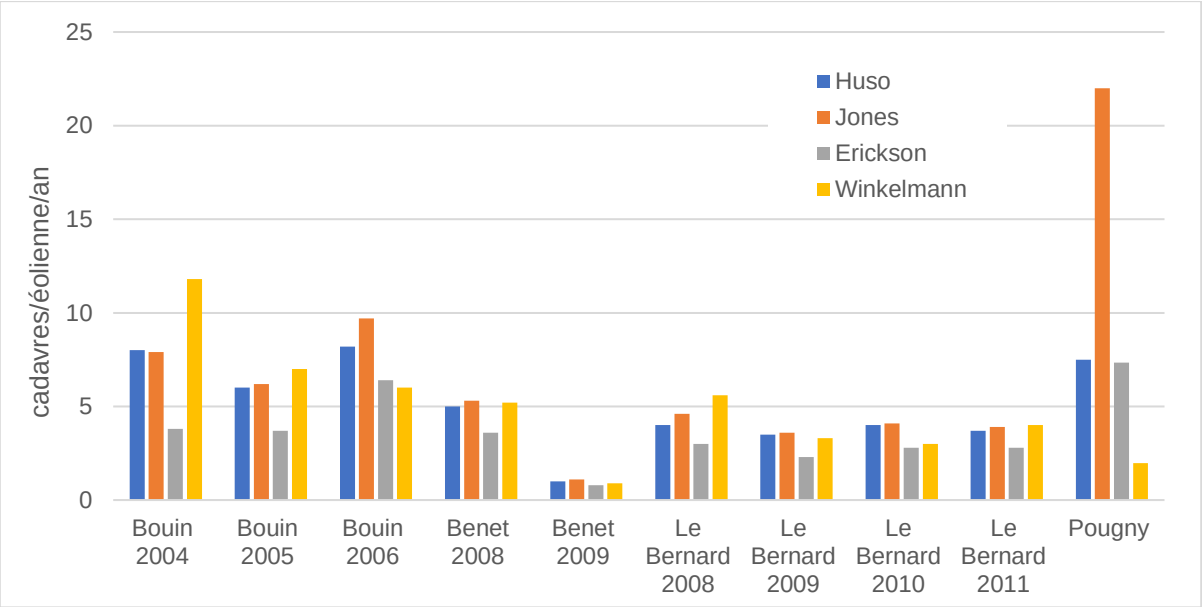


Figure 24 : Mortalité estimée par éolienne par an en fonction des parcs retenus pour comparaison (LPO, 2017)

D'après ces différentes données, le parc de Pougny provoque une mortalité sur l'avifaune qui est globalement supérieure aux parcs comparés, ainsi qu'à la valeur moyenne issue de la LPO. Cette mortalité peut être qualifiée de moyenne à forte.

Toutefois, il est à prendre en considération l'ampleur des paramètres correcteurs et notamment celui lié à la très faible persistance des cadavres sur ce site, facteur diminuant drastiquement la précision des résultats et aboutissant à l'importante variance observée entre les différentes estimations.

Compte tenu de ces paramètres, des biais potentiels liés à l'extrapolation, ainsi que de la très faible mortalité brute observée, il est plus que probable que la mortalité estimée soit surestimée dans ce contexte.

4.2.2.3 Analyse des groupes taxonomiques concernés

Sur le parc de Pougny, parmi les 3 cadavres d'oiseaux trouvés, **2 sont des passereaux** et **un est un Colombiforme**. Cette mortalité brute n'est pas nécessairement représentative de la mortalité réelle par groupe taxonomique mais témoigne probablement des espèces ou des ensembles d'espèces les plus impactés sur le parc.

Les passereaux font effectivement partie des groupes les plus impactés (figure suivante). Les Colombiformes sont cependant plus rarement découverts. Une comparaison entre ces résultats doit cependant être étudiée avec prudence étant donné le faible nombre de données issues de Pougny et donc la faiblesse statistique qui en découle.

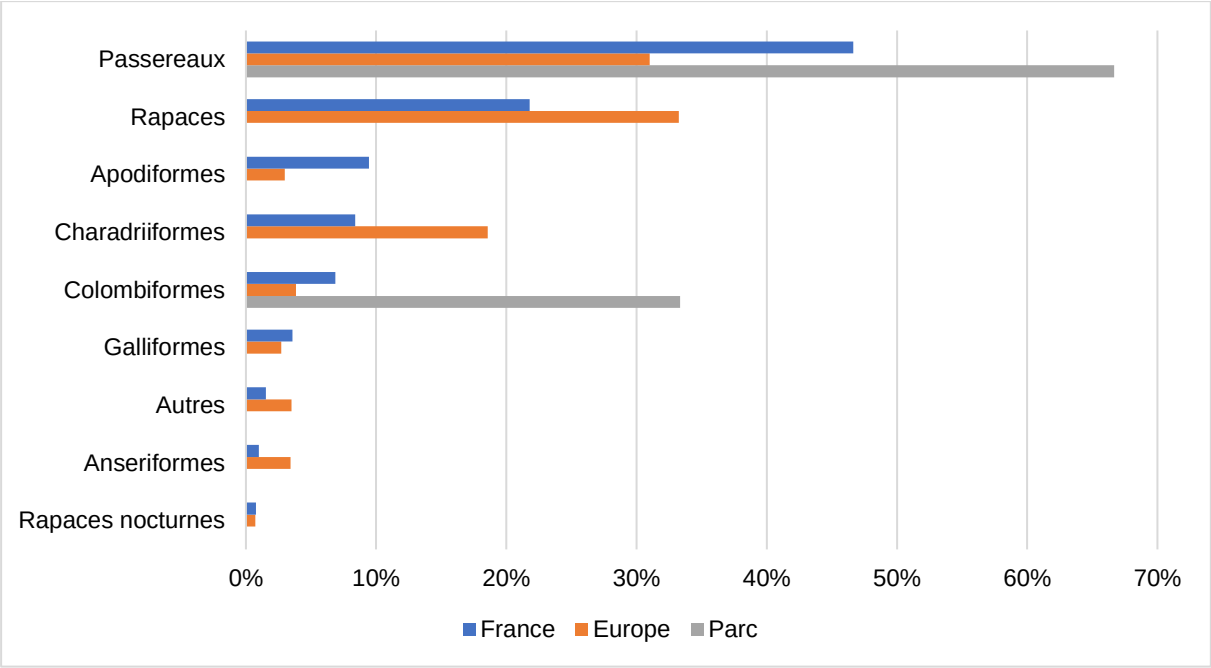


Figure 25 : Pourcentage de cas de collision avec les éoliennes en fonction du groupe taxonomique sur le parc de Pougny, en France et en Europe (source : Dürr, 2019)

Sur le parc de Pougny, les passereaux apparaissent être le groupe le plus impacté, suivi par les Colombiformes.

4.2.3 Résultats saisonniers globaux du suivi de l'avifaune

4.2.3.1 Mortalité brute

Durant le suivi 2019, **les cadavres d'oiseaux sont retrouvés en mai et en juillet** (figure suivante), durant la période de reproduction. Cependant, cela ne signifie pas nécessairement que les individus retrouvés étaient dans leur phase de reproduction lors de la collision. Aucun cadavre n'est retrouvé à l'automne. De plus, étant donnés les paramètres tels que la prédation et les autres facteurs de biais potentiels, il n'est pas impossible que d'autres périodes aient été mortifères lors du suivi.

La mortalité fluctue entre 1 et 2 cadavres sur les deux mois concernés. La variabilité et le nombre de ces résultats sont trop faibles pour dégager une tendance entre ces périodes mortifères.

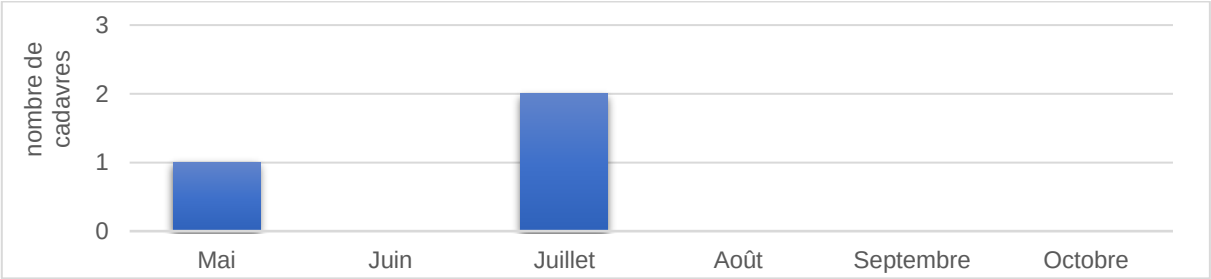


Figure 26 : Mortalité brute observée sur le parc de Pougny en fonction du mois

4.2.3.2 Mortalité estimée

Le tableau ci-dessous présente les estimations de la mortalité en fonction des différentes périodes du cycle biologique des oiseaux. Ces périodes sont données à titre indicatif mais ne reflète pas nécessairement la réalité pour toutes les espèces étant donnée la grande variabilité qu'il existe dans leurs phénologies.

Méthodes	Reproduction (mai à juillet)	Migration postnuptiale (dès août)
Huso	22,28	0
Jones	64,64	0
Korner	29,14	0
Etterson	29,19	0
Moyenne	**36,31**	**0**

Tableau 16 : Mortalité estimée sur le parc de Pougny en fonction des périodes du cycle biologique de l'avifaune sur la période de suivi

La mortalité estimée est d'environ 36 oiseaux durant la période de reproduction. Aucune mortalité brute n'ayant été observée durant la période de migration postnuptiale, la mortalité estimée correspondante est de 0.

La mortalité de l'avifaune sur le parc de Pougny est concentrée sur la période de reproduction. Il est possible que les oiseaux reproducteurs soient effectivement les plus impactés, cependant, le faible nombre de données exploitées ne permet pas de conclure sur ce point.

4.2.3.3 Analyse par espèce

Étant données les dates de découvertes du Pigeon ramier et des Bruants proyers et compte tenu de leur biologie comportementale, ces espèces étaient très certainement en **phase de reproduction** lors de leurs collisions.

4.2.4 Résultats spatialisés par éolienne

4.2.4.1 Mortalité brute

Les trois cadavres d'oiseaux sont retrouvés sous l'éolienne 4. Cependant, étant donnés les paramètres tels que la prédation et les autres facteurs de biais potentiels, il n'est pas impossible que d'autres éoliennes aient provoquées de la mortalité non observée lors du suivi.

4.2.4.2 Mortalité estimée

La mortalité moyenne estimée par les méthodes d'Huso, Jones, Etterson et Korner sur l'éolienne 4 est de 35,24 cadavres durant la période de suivi de mi-mai à mi-octobre.

4.2.5 Causalité

Le tableau ci-dessous précise les caractéristiques des cadavres d'oiseaux découverts.

Date	Espèce	Éolienne	Sexe	Âge	Blessure	Statut
27/05/2019	Pigeon Ramier	4	-	-	-	Reproduction
23/07/2019	Bruant Proyer	4	-	Adulte	-	Reproduction
23/07/2019	Bruant Proyer	4	-	Adulte	-	Reproduction

Tableau 17 : Précisions sur chaque cadavre découvert

Tous les oiseaux ayant pu être âgés sont des adultes, aucun juvénile ou immature n'a été découvert, malgré la maladresse dont les jeunes individus peuvent faire preuve.

Les deux cadavres des Bruants proyers découverts ne présentaient pas de blessure visible. Cette absence peut s'expliquer par l'état du cadavre parfois avancé, la possibilité de barotraumatisme concernant les espèces de petite taille (roitelets, etc.) ou bien les caractéristiques de la collision (vitesse des pales, zone d'impact etc.).

Le Pigeon ramier n'a été découvert que sous forme d'une plumée. Il est possible qu'un prédateur tel qu'un renard ait emmener le restant du cadavre.

Les causes provoquant une collision avec un oiseau sont difficiles à dépister mais certains facteurs sont récurrents en fonction des espèces et peuvent ainsi être envisagés.

En l'occurrence, **les plaines agricoles qui entourent les éoliennes sont des lieux favorables à l'alimentation du Pigeon ramier et du Bruant proyer.**

Le cas de mortalité des deux Bruants proyers est assez inhabituel. En effet, ces deux oiseaux ont été retrouvés à la même date, à quelques mètres d'écart l'un de l'autre. De nombreuses hypothèses pourraient expliquer ce cas : panique liée à un rapace ou à la poursuite d'un des deux individus après l'autre, brouillard etc.

Aucune cause de mortalité ne semble être récurrente sur le parc de Pougny. La présence des grandes cultures permet toutefois d'expliquer la découverte de ces espèces qui doivent très certainement profiter de ces milieux pour leur alimentation.

4.2.6 Patrimonialité, sensibilité et vulnérabilité des espèces

Le tableau suivant synthétise les statuts de protection et de conservation, ainsi que les sensibilités et vulnérabilités des espèces ayant été directement impactées par le parc de Pougny.

Groupe	Espèce	Statut de protection		Statut de conservation national nicheur (UICN)	Sensibilité à l'éolien	Vulnérabilité à l'éolien	Effectifs
		Directive oiseaux	Oiseaux protégés (France)				
Columbiformes	Pigeon ramier	Annexe II/1 Annexe III/1	-	LC	0	1	1
Passeriformes	Bruant proyer	-	Article 3	LC	1	1,5	2
LC: Préoccupation mineure / NA : Non applicable / : éléments de patrimonialité							

Tableau 18 : Statuts de conservation, sensibilités et vulnérabilités des différentes espèces impactées

Aucune des espèces découvertes ne possède un statut de conservation défavorable à l'échelle nationale. Toutefois, le Bruant proyer est une espèce protégée à l'échelle nationale.

L'espèce possédant l'indice de vulnérabilité le plus élevé est le Bruant proyer. Cependant, cet indice de 1,5 est considéré comme relativement faible.

Ainsi, **concernant l'avifaune, le Parc de Pougny ne semble pas présenter de risque pour les espèces et leurs populations.**

4.2.7 Synthèse et préconisations

4.2.7.1 Synthèse

Le parc de Pougny présente une mortalité brute faible sur l'avifaune (3 cadavres). A l'inverse, la mortalité estimée est forte (environ 12,30 oiseaux/éolienne/an). Cette importante différence est liée aux paramètres correcteurs et notamment à la très faible persistance des cadavres sur le site. Cependant, compte tenu des biais évoqués précédemment, ainsi que de la très faible mortalité brute observée, il est plus que probable que la mortalité estimée soit surestimée dans ce contexte. En outre, le faible échantillon de cadavres retrouvés ne permet pas une bonne appréciation des espèces réellement impactées ou des comportements lors des collisions. Toutefois, en découlent de ces résultats plusieurs éléments décrits ci-après.

Sur les 3 cadavres découverts, 2 espèces y figurent : le Bruant proyer, dont deux cadavres ont été retrouvés à la même date et sous la même éolienne, ainsi que le Pigeon ramier. Les trois oiseaux ont été trouvés sous l'éolienne 4.

L'étude tend à indiquer une mortalité axée sur les espèces en phase de reproduction. Ainsi, la migration postnuptiale n'a pas fait l'objet d'un impact observable.

Les grandes cultures entourant les éoliennes sont des habitats favorables à l'alimentation des deux espèces découvertes, ce qui permet d'expliquer notamment leur présence. Cependant, aucune cause concrète ne permet d'expliquer les collisions.

Les deux espèces ne présentent pas de statut de conservation défavorable et ne sont que faiblement vulnérables à l'éolien. En tenant aussi compte de la faible mortalité estimée, le parc de Pougny semble n'avoir qu'un impact très réduit sur l'avifaune.

4.2.7.2 Préconisations

En l'état actuel des connaissances, sans indice indiquant un impact majeur sur une ou plusieurs espèces, <u>aucune mesure spécifique de réduction de la mortalité n'est à envisager.</u>

4.3 Mortalité des chiroptères

4.3.1 Bilan des connaissances sur la mortalité des chiroptères liée à l'éolien

4.3.1.1 Les principaux facteurs de la mortalité des chiroptères

La mortalité des chauves-souris peut être liée à différents facteurs : collision directe, barotraumatisme, écrasement dans les mécanismes de rouage, intoxication suite à l'absorption d'huile de rouage, etc.

La mortalité par contact direct ou indirect avec les aérogénérateurs reste l'impact le plus significatif des parcs éoliens sur les chiroptères (Brinkmann *et al.,* 2011). Ces collisions ont pour conséquences des blessures létales ou sublétales (Grodsky *et al*., 2011).

La synthèse bibliographique d'Eva Schuster (Schuster *et al.,* 2015) s'est appuyée sur plus de 220 publications scientifiques dans le but de dresser un état des lieux des connaissances en la matière et de confronter ces différentes hypothèses. Cette publication sert de base à la synthèse suivante.

Mortalité indirecte

Outre la mortalité la plus évidente résultant de la collision directe des chauves-souris avec les pales des éoliennes, d'autres cas de mortalité indirecte sont documentés :

- un **phénomène de pression/décompression** se produit lors de la rotation des pales et de leur passage devant le mat. La chute brutale de la pression de l'air pourrait impliquer de sérieuses lésions internes des individus passant à proximité des pales, nommés barotraumatismes ;
- la rotation des pales d'éoliennes pourrait provoquer **un vortex** (tourbillon d'air) susceptible de piéger les chauves-souris passant à proximité (Horn *et al.,* 2008) ;
- les **courants d'air créés par la rotation des pales** seraient susceptibles d'entrainer des torsions du squelette des chiroptères passant à proximité, ce qui pourrait aboutir à des luxations ou des fractures des os alaires (Grodsky *et al*., 2011) ;
- les **collisions sublétales** où des individus percutés par des pales pourraient survivre pendant un temps. Ce type de collision aboutit potentiellement au décès des individus mais pourraient ne pas être comptabilisé lors des suivis si ceux-ci ont pu s'éloigner du rayon de recherche entre-temps.

La saisonnalité, les conditions météorologiques ou le type d'habitat, comme facteurs de mortalité par collision fortuite

La majorité des auteurs s'accordent sur le fait que la **saisonnalité** joue un rôle prépondérant sur la mortalité des chiroptères par collision avec des aérogénérateurs : l'activité chiroptérologique et donc la mortalité sont les plus élevées en fin d'été-début d'automne (Arnett *et al.,* 2006 ; Dürr, 2002 ; Doty & Martin, 2012 ; Hull & Cawthen, 2013 ; Brinkmann *et al.,* 2006, 2011 ; Grodsky *et al.,* 2012 ; etc.).

Les **conditions météorologiques** influent directement ou indirectement sur la disponibilité en ressources alimentaires (notamment les insectes pour les chauves-souris européennes) et sur les conditions de vol des chiroptères, donc sur le taux de mortalité par collision (Baerwald & Barclay, 2011).

Le paramètre le plus influent semble être la vitesse du vent. Rydell *et al*. (2010) ont noté des activités maximales pour une vitesse de vent entre 0 et 2 m/s, puis, de 2 à 8 m/s, une activité diminuant pour devenir inexistante au-delà de 8 m/s. Behr *et al.* (2007) arrivèrent aux mêmes conclusions pour des vitesses de vent supérieures à 6,5 m/s

La température semble également jouer un rôle sur l'activité chiroptérologique. Si plusieurs auteurs concluent à une corrélation positive entre augmentation de la température et activité (Redell *et al*., 2006 ; Arnett *et al*., 2006, 2007 ; Baerwald & Barclay, 2011 ; etc.), d'autres ne considèrent pas ce paramètre en tant que facteur influant de manière indépendante sur l'activité chiroptérologique (Horn *et al*., 2008 ; Kerns *et al*., 2005). La pression atmosphérique (Cryan & Brown, 2007 ; Kern *et al*., 2005), le rayonnement lunaire (Baerwald & Barclay, 2011 ; Cryan *et al.,* 2014) et l'hygrométrie (Behr *et al*., 2011) pourraient également influer sur l'activité chiroptérologique. Il semble toutefois plus vraisemblable que ces paramètres influent de manière concomitante sur l'activité des chiroptères (ce qui serait aussi le cas de la température) comme le montrent Behr *et al.,* (2011) ou sur l'abondance d'insectes (Corten & Veldkamp, 2001).

Le nombre de cadavres trouvés sous les éoliennes varie également en fonction de l'**environnement immédiat** du parc, de la configuration des aérogénérateurs (distance entre le mât et les structures arborées) et de leurs caractéristiques (hauteur du moyeu et longueur des pales).

Des comportements à risques de collision, facteurs de mortalité

Comme détaillé précédemment, la saisonnalité joue un rôle particulier dans le niveau d'activité des populations de chiroptères. Les plus forts taux de mortalité sont ainsi généralement recensés en fin d'été - début d'automne, ce qui sous-entend un lien entre mortalité et migration automnale.

Lors des **migrations**, les chauves-souris traversent des zones moins bien connues que leurs territoires de chasse et/ou n'émettent que peu ou pas d'émissions sonar lors de ces trajets, elles seraient ainsi moins à même de repérer les pales en mouvement (Bach, 2001 in Behr *et al.,* 2007 ; Johnson *et al*., 2003).

Les comportements de chasse, de reproduction ou de swarming sont également des comportements à risque de collision. Horn *et al*. (2008) mettent ainsi en évidence une corrélation positive entre activité d'insectes et de chauves-souris dans les deux premières heures de la nuit.

En période de reproduction ou lors de recherches de gîtes de mise-bas ou de transit, les chiroptères arboricoles recherchent des cavités, des fissures et des décollements d'écorce où s'installer. La silhouette d'une éolienne pourrait ainsi être confondue avec celle d'un arbre en milieu ouvert (Cryan *et al*., 2014 ; Kunz *et al.,* 2007), entrainant une exploration de l'ensemble de la structure par les chauves-souris et augmentant ainsi le risque de collision.

Enfin, à proximité des gîtes de mise-bas ou de lieux de swarming, des regroupements importants de chiroptères peuvent avoir lieu, résultant en une augmentation conséquente du nombre d'individus et de l'activité autour du site, ainsi qu'en un rassemblement d'individus volant autour des entrées. Cela implique nécessairement un risque accru de mortalité par collision.

La morphologie et les spécificités écologiques de certaines espèces semblent être un facteur important dans le risque de collision. Hull et Cawthen (2013) et Rydell *et al.* (2010) ont ainsi mis en évidence des similarités entre espèces sensibles à l'éolien telles que les noctules, les pipistrelles et les

sérotines en Europe. Il s'agit d'espèces glaneuses de plein air aux ailes longues et effilées, adaptées à ce type de vol et utilisant des signaux à faible largeur de bande et à forte intensité. Rydell *et al.* (2010) ont conclu que 98 % des espèces victimes de mortalité par collision sont des espèces présentant ces caractéristiques morphologiques et écologiques.

Sensibilité et vulnérabilité des espèces

Il est possible de calculer un **indice de sensibilité** (SFEPM, 2012) des espèces de chiroptères par le rapport entre le nombre de cas de mortalité connus pour une espèce en Europe et le nombre total de cas de mortalité toutes espèces confondues (Dürr, 2019) . Un niveau de sensibilité de 0 à 4 a ainsi été attribué à chaque espèce européenne. A la suite de cette analyse, quatre espèces ont été définies comme les plus sensibles (niveau 4). Il s'agit de la Noctule commune, de la Noctule de Leisler, de la Pipistrelle de Nathusius et de la Pipistrelle commune. Cinq autres espèces, telles que la Pipistrelle de Kuhl ou la Sérotine commune atteignent le niveau de sensibilité 3.

Un **indice de vulnérabilité** peut être calculé en fonction de la sensibilité au risque de collision et du statut UICN national. Ceci est détaillé dans la figure suivante, issue du « Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres » de novembre 2015.

Indice de vulnérabilité de l'état de conservation des espèces

IV. Enjeux de conservation	**III. Sensibilité à l'éolien**				
	0	1	2	3	4
Espèce non protégée	0.5				
DD, NA, NE =1	0,5	1	1,5	2	2,5
LC = 2	1	1,5	2	2,5	3
NT = 3	1,5	2	2,5	3	3,5
VU = 4	2	2,5	3	3,5	4
CR-EN = 5	2,5	3	3,5	4	4,5

DD : Données insuffisantes, **NA :** Non applicable, espèce non soumise à l'évaluation car : introduite après l'année 1500 ; présente de manière occasionnelle ou marginale et non observée chaque année en métropole ; régulièrement présente en hivernage ou en passage mais ne remplissant pas les critères d'une présence significative ; ou régulièrement présente en hivernage ou en passage mais pour laquelle le manque de données disponibles ne permet pas de confirmer que les critères d'une présence significative sont remplis, **NE :** Non évaluée : espèce n'ayant pas été confrontée aux critères de l'UICN, **LC** : préoccupation mineure (espèce pour laquelle le risque de disparition de France est faible), **NT** : quasi menacée (espèce proche du seuil des espèces menacées ou qui pourrait être menacée si des mesures de conservation spécifiques n'étaient pas prises), **VU** : vulnérable, **EN** : en danger, **CR** : en danger critique

Figure 27 : « Indice de vulnérabilité de l'état de conservation des espèces » (Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, novembre 2015)

4.3.1.2 Bilan chiffré de la mortalité des chiroptères en 2019

Environ 2 800 cas de collision avec les éoliennes ont été recensés en France au 2 septembre 2019 (Dürr, 2019). L'espèce la plus fortement impactée (environ 35%) est de loin la Pipistrelle commune (Annexe 3 et figure suivante). La Pipistrelle de Nathusius, la Pipistrelle de Kuhl et les Pipistrelles indéterminées sont retrouvées dans de plus faibles proportions (environ 8 à 11% pour chaque espèce). Enfin, dans des proportions encore plus faibles, la Pipistrelle pygmée (6%), la Noctule de Leisler (5%), la Noctule commune (4%), le Vesper de Savi (2%) et la Sérotine commune (1%) sont identifiées. Il est précisé que 16% des chauves-souris retrouvées restent indéterminées.

Au niveau européen, la Pipistrelle commune est aussi l'espèce la plus impactée, suivie par la Pipistrelle de Nathusius, la Noctule commune et les Pipistrelles indéterminées.

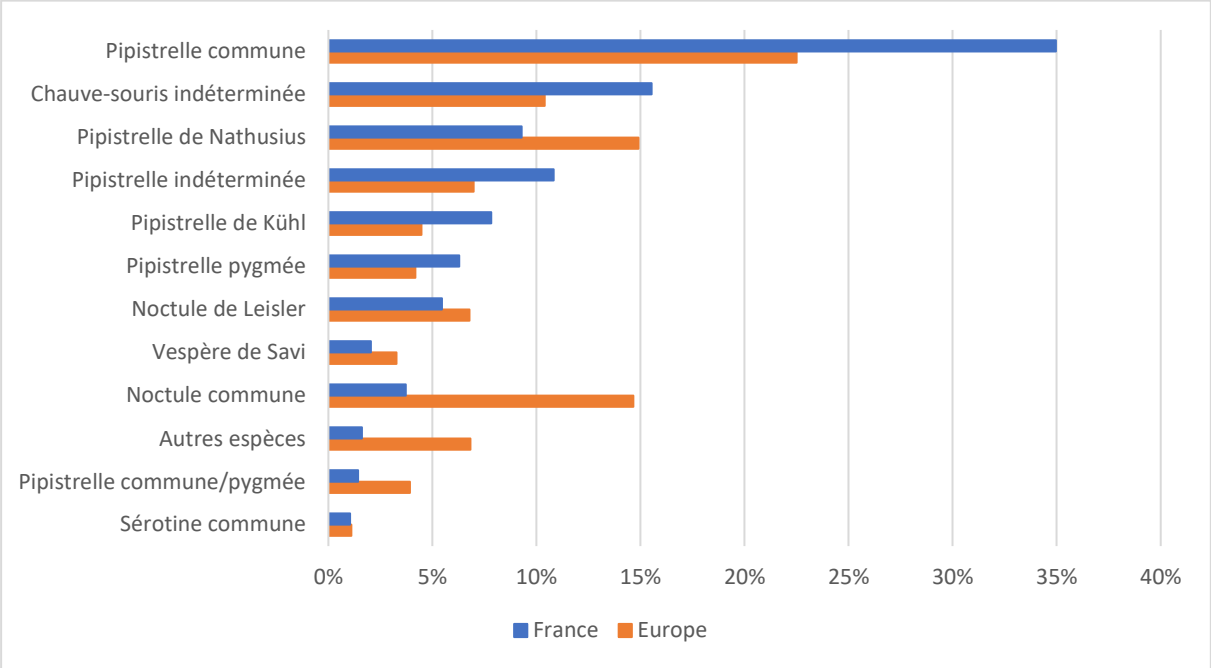


Figure 28 : Pourcentage de cas de collision avec les éoliennes en fonction de l'espèce de chauve-souris en France et en Europe (Dürr, 2019)

4.3.1 Résultats globaux du suivi des chiroptères

4.3.1.1 Mortalité brute

Résultats sur le parc de Pougny

Sur le parc de Pougny, **1 cadavre de chiroptère** a été retrouvé et il s'agit d'une Pipistrelle commune. Cela représente une mortalité brute de **0,09 cadavre/éolienne** durant la période de suivi s'étalant de mi-mai à mi-octobre, soit 20 sorties à raison d'une sortie par semaine. Cette mortalité brute est équivalente à **0,0045 cadavre/éolienne/sortie**.

Comparaison de la mortalité brute avec celles d'autres parcs éoliens

Le tableau suivant synthétise les caractéristiques et les résultats bruts de plusieurs parcs français repris dans le rapport « Impact de l'activité éolienne sur les populations de chiroptères : enjeux et solutions » (Écosphère, 2016, complété en 2017) et les compare avec ceux du parc de Pougny.

Parc éolien	Nombre d'éoliennes	Nombre de mois de suivi	Nombre de prospections par semaine	Surface théorique prospectée (ha)	Mortalité brute observée	Nombre de cadavres/éolienne/sortie
Bouin 2004 (85)	8	12	1	1 ha	25	0,06
Bouin 2005 (85)		12	1	1 ha	21	0,05
Bouin 2006 (85)		12	1	1 ha	16	0,038
Bouin 2009 (85)		12	1	1 ha	22	0,053
Benet 2008 (85)	5	12	1	1 ha	1	0,004
Benet 2009 (85)		12	1	1 ha	3	0,012
Le Bernard 2008 (85)	5	12	1	1 ha	0	0
Le Bernard 2009 (85)		12	1	1 ha	4	0,015
Le Bernard 2010 (85)		12	1	1 ha	3	0,012
Le Bernard 2011 (85)		12	1	1 ha	6	0,023
Mas de Leuze 2009 (13)	9	8.5	1,65	1 ha	103	0,204
Mas de Leuze 2011 (13) *	8	3	2,4	0.5 ha	54	0,241
Mas de Leuze 2012 (13) *	8	3	2,4	0.5 ha	51	0,228
Castelnau-Peygarols 2009 (12)	13	5	2	1 ha	98	0,215
Le Pouzin 2010 (07)	2	5,5	2,2	1 ha	6	0,063
La Répara 2010 (26)	2	5,5	3,23	1 ha	42	0,296
Pougny (87)	**11**	**5**	**1**	**1**	**1**	**0,0045**

* : mise en place d'un bridage

Tableau 19 : Comparaison de la mortalité brute entre le parc de Pougny et d'autres parcs en France (Écosphère, 2016, 2017)

La mortalité brute observée est très inférieure à la moyenne des études menées sur les parcs retenus pour la comparaison (figure suivante).

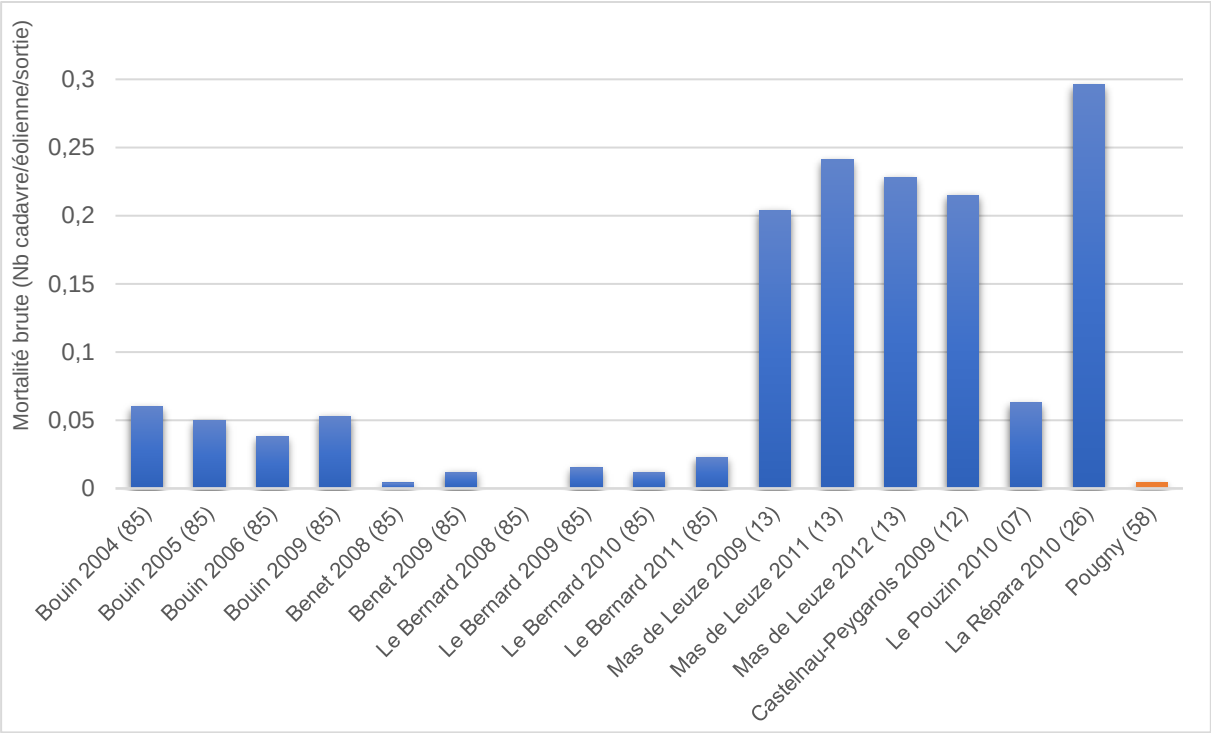


Figure 29 : Mortalité brute par éolienne par sortie en fonction des parcs retenus pour comparaison (Écosphère, 2016, 2017)

Avec 0,0045 cadavre/éolienne/sortie, la mortalité brute des chiroptères sur le parc de Pougny fait partie des plus basses enregistrées parmi les parcs éoliens français utilisés pour comparaison.

4.3.1.2 Mortalité estimée

Résultats sur le parc de Pougny

Le tableau suivant compile les résultats de mortalité estimée pour l'ensemble du parc éolien sur la période de suivi par les différentes méthodes retenues. Un indicateur de fiabilité est attribué à ces résultats en fonction des méthodes utilisées.

Méthodes	Parc	Fiabilité
Winkelmann	2,83	Faible
Erickson	10,52	Moyenne
Jones	31,54	Élevée
Huso	10,74	
Korner	14,06	
Etterson	14,19	

Tableau 20 : Estimation de la mortalité des chiroptères pour l'ensemble du parc de Pougny sur la période de suivi selon les méthodes utilisées

Selon les quatre méthodes les plus fiables (Jones, Huso, Korner et Etterson), les estimations varient de **11 à 32 chiroptères** tués sur l'ensemble du parc durant la période de suivi. Les estimations de Winkelmann et d'Erickson sont respectivement de 3 et 11 individus.

La moyenne des quatre estimations les plus fiables est de 17,63 cadavres pour l'ensemble du parc sur la période de suivi.

La mortalité estimée (n = 17,63) est élevée en comparaison de la mortalité brute (n = 1). En effet, **les paramètres correcteurs ont ici un impact fort**. C'est notamment le cas pour les valeurs correctives liées à la persistance des cadavres, qui reflète une **forte prédation** sur le parc de Pougny. En outre, la correction surfacique est assez élevée étant donné le **grand nombre de zones non prospectables** autour des éoliennes, dues notamment à la présence des cultures. Il est important de considérer le fait que ces deux éléments **réduisent la précision de l'estimation et surestiment probablement ces résultats.**

Le tableau suivant présente les résultats équivalents par éolienne et extrapolés sur l'année. Étant données les différences d'activité des chiroptères selon les périodes et notamment leur hibernation, une **extrapolation sur l'année** ne peut être réalisée qu'en prenant en compte cette variation d'activité. Ainsi, le temps d'inactivité des chiroptères est déduit de l'extrapolation. Cependant, cela ne permet pas de réduire totalement les biais liés à cette prédiction. Ces résultats sont présentés ici dans un objectif de comparaison avec les mortalités estimées d'autres parcs et **doivent être interprétés avec précaution**.

	Sur la période de suivi (20 semaines)	Extrapolation sur une année
Pour l'ensemble du parc	17,63	30,86
Par éolienne	1,60	2,81

Tableau 21 : Équivalence de l'estimation de la mortalité par éolienne et extrapolation sur l'année sur le parc de Pougny

Comparaison de la mortalité estimée avec celles d'autres parcs éoliens

Afin de mieux rendre compte des résultats estimés sur le parc de Pougny, une comparaison est effectuée avec d'autres parcs au cours de plusieurs années (tableau suivant).

Parc éolien	Nombre d'éoliennes	Surface théorique prospection	Mortalité brute observée	Estimation (chiroptères/éolienne/an)			
				Huso	Jones	Erickson	Winkelmann
Bouin 2004 (85)	8	1	25	10	9,9	5,2	17,5
Bouin 2005 (85)		1	21	14,8	15,2	10	22,5
Bouin 2006 (85)		1	16	5,1	5,2	4,8	5
Bouin 2009 (85)		1	22	13	13,5	8	-
Benet 2008 (85)	5	1	1	0,9	1	0,7	1,8
Benet 2009 (85)		1	3	1,7	1,8	1,3	3,2
Le Bernard 2008 (85)	5	1	0	0	0	0	0
Le Bernard 2009 (85)		1	4	2,3	2,4	1,5	3,2
Le Bernard 2010 (85)		1	3	1,5	1,6	1	1,2
Le Bernard 2011 (85)		1	6	2,8	3,1	2,2	2,1

Parc éolien	Nombre d'éoliennes	Surface théorique prospection	Mortalité brute observée	Estimation (chiroptères/éolienne/an)			
				Huso	Jones	Erickson	Winkelmann
Mas de Leuze 2009 (13)	9	1	103	-	-	79,3	-
Mas de Leuze 2011 (13)*	8	0,5	54	-	-	10,45	-
Mas de Leuze 2012 (13)*	8	0,5	51	-	-	9,875	-
Castelnau-Peygarols 2009 (12)	13	1	98	25,17	26,64	21,64	34,70
Castelnau-Peygarols 2010 (12)*	13	1	?	1,2	1,31	1,16	1,52
Le Pouzin 2010 (07)	2	1	6	44,17	75,99	54,93	6,79
La Répara 2010 (26)	2	1	42	79,17	86,94	59,68	130,49
Pougny (87)	**11**	**1**	**1**	**1,71**	**5,02**	**1,67**	**0,45**

* : Mise en place d'un bridage

Tableau 22 : Comparaison de la mortalité estimée entre le parc de Pougny et d'autres parcs en France (Écosphère, 2016, 2017)

La mortalité estimée et extrapolée sur l'année pour le parc de Pougny est très inférieure à la moyenne de la mortalité estimée sur les autres parcs utilisés pour comparaison (figure suivante). Avec 2,81 chiroptères/éolienne/an (moyenne des quatre estimations les plus fiables), celle-ci est aussi nettement plus basse que les moyennes connues de pays européens, telle que les 7,92 chiroptères/éolienne/an estimées en Grande-Bretagne.

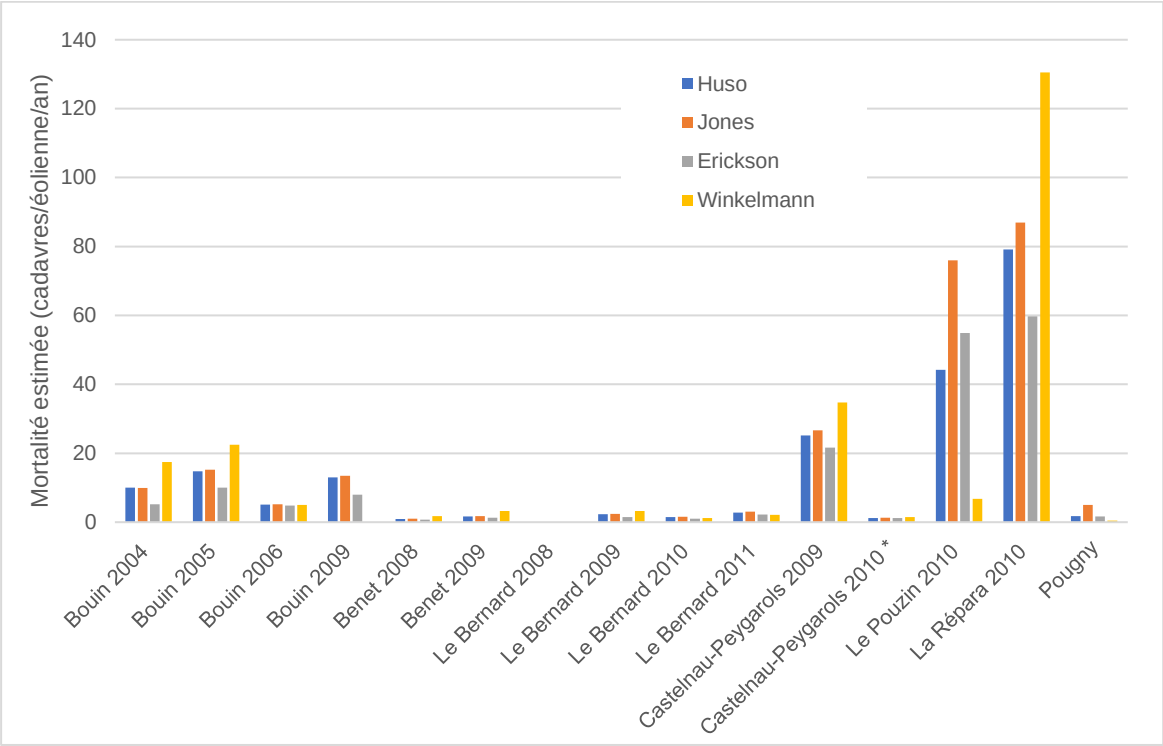


Figure 30 : Mortalité estimée par éolienne par an en fonction des parcs retenus pour comparaison (Écosphère, 2016, 2017)

La mortalité estimée des chiroptères sur le parc de Pougny, en cadavres par éolienne par an, est considérée comme très faible.

4.3.1.3 Analyse des espèces concernées

Sur le parc de Pougny, le seul cadavre découvert appartient à une **Pipistrelle commune**. Ce constat n'est en rien étonnant étant donné que cette espèce est la plus représentée dans les cas de mortalité en France ainsi qu'en Europe.

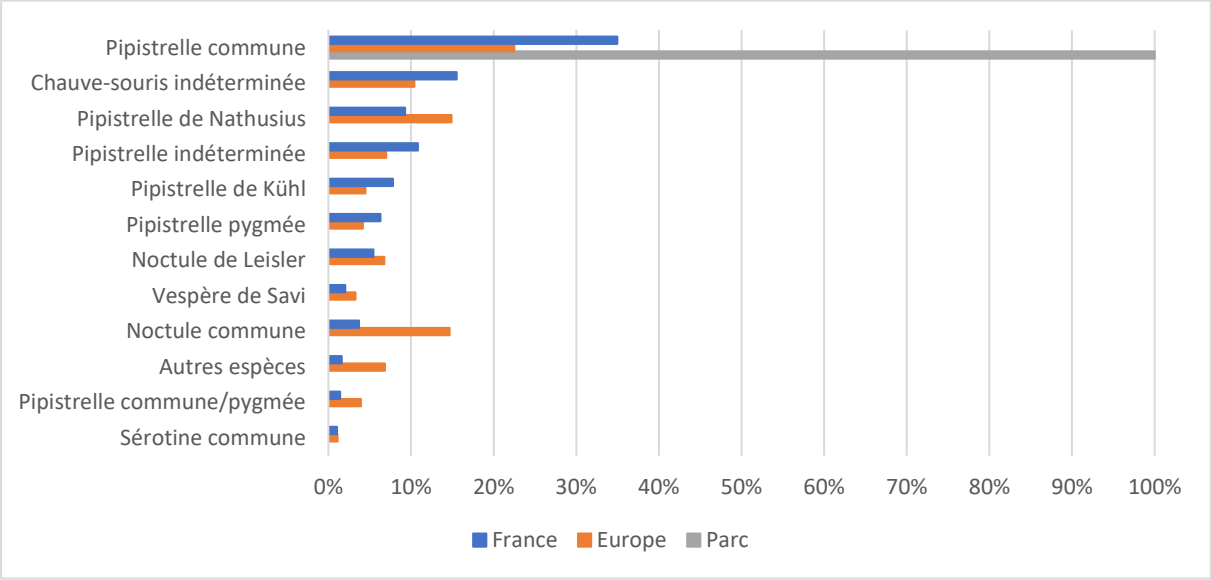


Figure 31 : Pourcentage de cas de collision avec les éoliennes en fonction de l'espèce de chiroptère sur le parc de Pougny, en France et en Europe (Dürr, 2019)

4.3.2 Résultats saisonniers globaux du suivi des chiroptères

4.3.2.1 Mortalité brute

Sur l'année 2019, **l'unique cadavre a été retrouvé en septembre, durant la période des transits automnaux et du swarming.** Cependant, étant donnés les paramètres tels que la prédation et les autres facteurs de biais potentiels, il n'est pas impossible que d'autres périodes aient été mortifères lors du suivi.

4.3.2.2 Mortalité estimée

Le tableau ci-dessous présente les estimations de la mortalité en fonction des différentes périodes du cycle biologique des chiroptères. L'établissement de ces périodes tendent à refléter au mieux la phénologie des chiroptères, cependant, des variabilités existent en fonction des espèces et des individus.

Méthodes	Transit printanier (jusqu'à fin mai)	Mise-bas / Élevage des jeunes (1er juin au 15 août)	Transit automnal / Swarming (à partir du 15 août)
Huso	0	0	18,88
Jones	0	0	56,23
Korner	0	0	24,80
Etterson	0	0	25,10
Moyenne	**0**	**0**	**31,25**

Tableau 23 : Mortalité estimée sur le parc de Pougny en fonction des périodes du cycle biologique des chiroptères sur la période de suivi

La mortalité estimée est d'environ 31 chiroptères durant la période des transits automnaux sur l'ensemble du parc.

La mortalité des chiroptères sur le parc de Pougny n'est représentée que sur la période des transits automnaux. Il est possible que les chiroptères en transits ou en swarming soient effectivement les plus impactés, cependant, l'unique donnée exploitée ne permet pas de conclure sur ce point.

4.3.2.3 Analyse par espèce

Étant donnée la date de découverte de la Pipistrelle commune et compte tenu de sa biologie comportementale, **cet individu était très certainement en transit ou en phase de swarming** lors de sa collision.

4.3.3 Résultats spatialisés par éolienne

4.3.3.1 Mortalité brute

Le cadavre de la Pipistrelle commune a été retrouvé sous l'éolienne 11. Cependant, étant donnés les paramètres tels que la prédation et les autres facteurs de biais potentiels, il n'est pas impossible que d'autres éoliennes aient provoquées de la mortalité non observée lors du suivi.

4.3.3.2 Mortalité estimée

La mortalité estimée moyenne sur l'éolienne 11 est de 14,98 cadavres durant la période de suivi de mi-mai à mi-octobre.

4.3.4 Causalité

Aucune blessure n'a été observée sur le cadavre de Pipistrelle commune. L'absence de blessure visible peut s'expliquer par l'état du cadavre parfois avancé mais aussi et surtout par le barotraumatisme concernant les espèces de petite taille ou encore les caractéristiques de la collision (vitesse des pales, zone d'impact etc.).

Les causes provoquant une collision avec un chiroptère sont difficiles à dépister mais certains facteurs sont récurrents en fonction des espèces et peuvent ainsi être envisagés.

La Pipistrelle commune est très généraliste dans son choix d'habitat de reproduction et de chasse. Elle se retrouve ainsi aussi bien sur des secteurs boisés que sur **des zones ouvertes, au milieu des cultures**. La mortalité observée sur le parc de Pougny n'est donc pas surprenante.

4.3.5 Patrimonialité, sensibilité et vulnérabilité des espèces

Le tableau suivant synthétise les statuts de protection et de conservation, ainsi que les indices de vulnérabilités de la Pipistrelle commune.

Espèce	Directive Habitats	Statut de conservation UICN France	Statut de conservation UICN Bourgogne	Statut ZNIEFF	Sensibilité à l'éolien	Vulnérabilité à l'éolien	Effectifs
Pipistrelle commune	Annexe IV	NT	LC	-	4	3	1
LC : Préoccupation mineure / NT : Quasi menacée / : Eléments de patrimonialité / : sensibilité ou vulnérabilité élevée							

Tableau 24 : Statuts de conservation, sensibilités et vulnérabilités des différentes espèces impactées

La Pipistrelle commune est classée « Quasi-menacée » en France sur la liste rouge de l'UICN. Elle est cependant considérée comme étant une espèce à « Préoccupation mineure » en Bourgogne. Elle présente un indice de vulnérabilité de 3, ce qui est élevé. En effet, cette espèce est très sensible à l'éolien et les cas de mortalité sont fréquents.

4.3.6 Synthèse et préconisations

4.3.6.1 Synthèse

Le parc de Pougny présente une mortalité estimée faible sur les chiroptères. En effet, un seul cadavre a été retrouvé au pied de l'éolienne 11. Ce cadavre est celui d'une Pipistrelle commune, espèce généraliste et commune, dont les cas de mortalité sont fréquents partout en France.

Découvert en septembre, cet individu était très certainement en transit automnal ou en phase de swarming lors de la collision.

Si la cause directe de la collision n'est pas diagnosticable, la présence de l'espèce sur le parc n'est pas surprenante compte tenu de son généralisme quant aux choix de ces habitats de vie.

La Pipistrelle commune est une espèce présentant un statut de conservation défavorable en France ainsi qu'une vulnérabilité élevée à l'éolien. Cependant, la très faible mortalité observée et estimée témoigne d'un impact minimal sur les populations de chiroptères sur le parc de Pougny.

4.3.6.2 Préconisations

En l'état actuel des connaissances, sans indice indiquant un impact majeur sur une ou plusieurs espèces, aucune mesure spécifique de réduction de la mortalité n'est à envisager.

Table des illustrations

Figures

Figure 1 : Dispositif installé dans la nacelle d'éolienne (copyright : B.A.T.).....16
Figure 2 : Indices de confiance établis par Sonochiro® et risques d'erreurs associés 17
Figure 3 : Schéma théorique de parcours au pied d'une éolienne 22
Figure 4 : Richesse spécifique des chiroptères et espèces patrimoniales inventoriées lors du pré-diagnostic (SHNA).....33
Figure 5 : Enjeux identifiés pour les chiroptères lors du pré-diagnostic (SHNA).....34
Figure 6 : Espèces inventoriées lors de l'étude d'impact et sensibilités à l'éolien (Intervent) 34
Figure 7 : Conclusion de l'analyse des données chiroptères de l'étude d'impact (Intervent).35
Figure 8 : Répartition des contacts par espèce sur l'ensemble de la période d'étude (éolienne n°3) 37
Figure 9 : Répartition des contacts par espèce sur l'ensemble de la période d'étude (éolienne n°8) 37
Figure 10 : Répartition du nombre de contacts par nuit durant la période de suivi.....39
Figure 11 : Répartition des contacts par espèce et par mois sur l'ensemble de la période d'étude (éolienne n°3) 40
Figure 12 : Répartition des contacts par espèce et par mois sur l'ensemble de la période d'étude (éolienne n°8) 41
Figure 13 : Activité des chiroptères en fonction du cycle circadien (éolienne n°3) 43
Figure 14 : Activité des chiroptères en fonction du cycle circadien (éolienne n°8) 44
Figure 15 : Activité des chiroptères en fonction de la température.....46
Figure 16 : Activité des chiroptères en fonction de la température par mois (éolienne n°3) ..47
Figure 17 : Activité des chiroptères en fonction de la température par mois (éolienne n°8) ..47
Figure 18 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent 48
Figure 19 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent par mois (éolienne n°3) 49
Figure 20 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent par mois (éolienne n°8) 49
Figure 21 : « Indice de vulnérabilité de l'état de conservation des espèces » (Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, novembre 2015).....58
Figure 22 : Pourcentage de cas de collision avec les éoliennes en fonction de l'espèce en France et en Europe (Dürr, 2019).....60
Figure 23 : Mortalité brute par éolienne par sortie en fonction des parcs retenus pour comparaison (LPO, 2017) 61

Figure 24 : Mortalité estimée par éolienne par an en fonction des parcs retenus pour comparaison (LPO, 2017) 64
Figure 25 : Pourcentage de cas de collision avec les éoliennes en fonction du groupe taxonomique sur le parc de Pougny, en France et en Europe (source : Dürr, 2019).....65
Figure 26 : Mortalité brute observée sur le parc de Pougny en fonction du mois 65
Figure 27 : « Indice de vulnérabilité de l'état de conservation des espèces » (Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, novembre 2015).....72
Figure 28 : Pourcentage de cas de collision avec les éoliennes en fonction de l'espèce de chauve-souris en France et en Europe (Dürr, 2019).....73
Figure 29 : Mortalité brute par éolienne par sortie en fonction des parcs retenus pour comparaison (Écosphère, 2016, 2017).....75
Figure 30 : Mortalité estimée par éolienne par an en fonction des parcs retenus pour comparaison (Écosphère, 2016, 2017).....77
Figure 31 : Pourcentage de cas de collision avec les éoliennes en fonction de l'espèce de chiroptère sur le parc de Pougny, en France et en Europe (Dürr, 2019).....78

Cartes

Carte 1 : Localisation du parc éolien.....10
Carte 2 : Localisation du parc éolien sur photographie aérienne 11
Carte 3 : Localisation des dispositifs BATmode pour l'inventaire des chiroptères.....19

Tableaux

Tableau 1 : Calendrier des inventaires dédiés aux chiroptères.....20
Tableau 2 : Paramètres des tests de détection effectués sur l'année de suivi 23
Tableau 3 : Répartition du nombre de contacts par espèce.....36
Tableau 4 : Répartition du nombre de contacts par mois (éolienne n°3).....41
Tableau 5 : Répartition du nombre de contacts par mois (éolienne n°8).....41
Tableau 6 : Répartition du nombre de contacts en fonction des saisons (éolienne n°3) 42
Tableau 7 : Résultats de la richesse spécifique en fonction des études menées sur le site..51
Tableau 8 : Résultats des tests de détection 55
Tableau 9 : Résultats des tests de prédation.....55
Tableau 10 : Synthèse des surfaces prospectées et des facteurs de correction surfacique associés 56
Tableau 11 : Cause de mortalité des oiseaux.....57
Tableau 12 : Comparaison de la mortalité brute entre le parc de Pougny et d'autres parcs en

France (LPO, 2017).....61
Tableau 13 : Estimation de la mortalité de l'avifaune pour l'ensemble du parc de Pougny sur la période de suivi selon les méthodes utilisées 62
Tableau 14 : Équivalence de l'estimation de la mortalité par éolienne et extrapolation sur l'année sur le parc de Pougny 63
Tableau 15 : Comparaison des mortalités estimées entre le parc de Pougny et d'autres parcs en France (LPO, 2017).....63
Tableau 16 : Mortalité estimée sur le parc de Pougny en fonction des périodes du cycle biologique de l'avifaune sur la période de suivi.....66
Tableau 17 : Précisions sur chaque cadavre découvert.....67
Tableau 18 : Statuts de conservation, sensibilités et vulnérabilités des différentes espèces impactées.....68
Tableau 19 : Comparaison de la mortalité brute entre le parc de Pougny et d'autres parcs en France (Écosphère, 2016, 2017) 74
Tableau 20 : Estimation de la mortalité des chiroptères pour l'ensemble du parc de Pougny sur la période de suivi selon les méthodes utilisées 75
Tableau 21 : Équivalence de l'estimation de la mortalité par éolienne et extrapolation sur l'année sur le parc de Pougny 76
Tableau 22 : Comparaison de la mortalité estimée entre le parc de Pougny et d'autres parcs en France (Écosphère, 2016, 2017) 77
Tableau 23 : Mortalité estimée sur le parc de Pougny en fonction des périodes du cycle biologique des chiroptères sur la période de suivi 78
Tableau 24 : Statuts de conservation, sensibilités et vulnérabilités des différentes espèces impactées.....80

Annexes

Annexe 1 : Tableau des données brutes récoltées lors du suivi

N° sortie	Date	Observateur	Chiro (0 : non ; 1 : oui)	Oiseau (0 : non ; 1 : oui)	Eoliennes prospectées	N° cadavre	Eolienne	Heure début	Heure fin	T°	Météo	Vent	Eol. en marche (O/N)	Orientation éolienne	longitude	latitude	Type (O/C)	Espèce	Sexe	Age	Etat cadavre	Blessure	Végétation	Distance à l'éolienne	Orientation du cadavre	Statut
1	20/05/2019	Mathurin CARNET	0	0	Toutes	0		11h06	14h30	16°C	Couvert	N	O	N												
2	27/05/2019	Mathurin CARNET	0	1	Toutes	1	4	08h52	11h49	20°C	Couvert	W	O	W	337518	6008118,4		Pigeon Ramier			Plumée		Culture	40	S	Reproduction
3	03/06/2019	Mathurin CARNET	0	0	Toutes	0		09h46	12h25	20°C	Couvert	/	O	W et S												
4	11/06/2019	Mathurin CARNET	0	0	Toutes	0		10h19	12h28	20°C	Couvert	/	N	S												
5	17/06/2019	Mathurin CARNET	0	0	Toutes	0		10h08	11h55	26°C	Ciel bleu	E	O	E												
6	25/06/2019	Mathurin CARNET	0	0	Toutes	0		13h10	14h45	34°C	Ciel bleu	S	O	S												
7	01/07/2019	Mathurin CARNET	0	0	Toutes	0		09h07	10h40	26°c	Couvert	N	O	NW												
8	08/07/2019	Mathurin CARNET	0	0	Toutes	0		08h19	09h30	24°C	Ciel bleu	NE	O	N												
9	16/07/2019	Mathurin CARNET	0	0	Toutes	0		09h39	11h30	30°C	Ciel bleu	W	O	NE												
10	23/07/2019	Mathurin CARNET	0	1	Toutes	2	4	07h29	08h45	35°C	Ciel bleu	NE	O	E	337529,4	6008156,5		Bruant Proyer			Frais		Plateforme	1	W	Reproduction
10	23/07/2019	Mathurin CARNET	0	1	Toutes	3	4	07h29	08h45	35°C	Ciel bleu	NE	O	E	337531,4	6008158,3		Bruant Proyer			Frais		Plateforme	1,5	W	Reproduction
11	01/08/2019	Mathurin CARNET	0	0	Toutes	0		10h35	11h45	30°C	Ciel bleu	S	O	S												
12	05/08/2019	Mathurin CARNET	0	0	Toutes	0		10h15	11h25	28°C	Couvert	W	O	SW												
13	12/08/2019	Mathurin CARNET	0	0	Toutes	0		10h30	11h30	23°C	Ciel bleu	/	O	S												
14	19/08/2019	Mathurin CARNET	0	0	Toutes	0		10h11	11h20	25°C	Ciel bleu	S	O	S												
15	26/08/2019	Mathurin CARNET	0	0	Toutes	0		10h04	11h20	31°C	Ciel bleu	/	O	E												
16	11/09/2019	Mathurin CARNET	1	0	Toutes	4	11	12h00	13h35	28°C	Couvert	NE	O	N	339490	6004406		Pipistrelle commune			Frais		Plateforme	35	N	Transit automnal ou swarming
17	16/09/2019	Mathurin CARNET	0	0	Toutes	0		15h00	16h45	28°C	Ciel bleu	N	O	N												
18	23/09/2019	Mathurin CARNET	0	0	Toutes	0		10h45	12h30	21°C	Couvert	S	O	S												
19	30/09/2019	Mathurin CARNET	0	0	Toutes	0		09h50	11h40	21°C	Couvert	S	O	S												
20	08/10/2019	Mathurin CARNET	0	0	Toutes	0		10h50	12h15	16°C	Couvert	S	O	SE												

Annexe 2 : Mortalité aviaire, simplifiée, observée en France et en Europe au 2 Septembre 2019 (Source : Dürr, 2019)

Groupe	France	Europe
Rapaces	286	4929
Rapaces nocturnes	10	107
Passereaux	612	4594
Charadriiformes	110	2752
Colombiformes	90	571
Apodiformes	124	441
Autres	20	519
Anseriformes	13	506
Galliformes	47	403

Annexe 3 : Mortalité des chauves-souris, simplifiée, observée en France et en Europe au 2 Septembre 2019 (Source : Dürr, 2019)

Espèces	France	Europe
Noctule commune	104	1538
Noctule de Leisler	153	711
Grande Noctule	10	41
Noctule indéterminée	1	22
Pipistrelle commune	979	2362
Pipistrelle de Kuhl	219	469
Pipistrelle de Nathusius	260	1564
Pipistrelle pygmée	176	439
Pipistrelle indéterminée	303	733
Barbastelle d'Europe	4	6
Sérotine commune	29	116
Sérotine bicolore	11	213
Murin de Bechstein	1	1
Grand Murin	3	7
Murin à moustaches	1	5
Petit Murin	1	7
Murin indéterminé	1	10
Murin à oreilles échancrées	3	5
Minioptère de Schreiber	7	13
Molosse de Cestoni	2	71
Vespère de Savi	57	344

Annexe 4 : Fiches de terrain des cadavres retrouvés

FICHE DE TERRAIN STANDARDISEE – MORTALITE OISEAUX

Nom du parc éolien : POUGNY (58)

Point n°	Date :	Heure :	Nom du découvreur :
1	27/05/19	10h47	CARNET Mathurin

Localisation :

Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte

Latitude :

Longitude :

Numéro de l'éolienne la plus proche : POU 4

Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 35-40 m

Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : Sud

Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : Culture, 0 cm

N° de photos :

Description et identification :

Taille de l'oiseau (ailes déployées) :

Particularités (couleur, forme quelconque) : Plumée : 1 plume déterminante + 1 dizaine de petites plumes / duvet

Identification (famille, espèce si possible) : Pigeon ramier

Etat de l'individu :

☐ Vivant (blessé) ☐ Mort ☒ Fragment

Etat du cadavre :

☐ Frais ☐ Avancé ☐ Décomposé ☐ Sec ☒ plumes

Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour…) :

COMMENTAIRES : Cadavre surement prédaté / charogné

FICHE DE TERRAIN STANDARDISEE – MORTALITE OISEAUX

Nom du parc éolien : POUGNY (58)

Point n°	Date :	Heure :	Nom du découvreur :
2	23/07/19	07 h 35	CARNET Mathurin

Localisation :

Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte

Latitude :

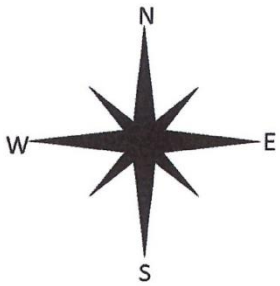
Longitude :

Numéro de l'éolienne la plus proche : POU4

Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 1 m

Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : W

Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : Plateforme, 0cm



N° de photos :

Description et identification :

Taille de l'oiseau (ailes déployées) : 30 cm

Particularités (couleur, forme quelconque) :

Identification (famille, espèce si possible) : Bruant proyer

Etat de l'individu :

☐ Vivant (blessé) ☒ Mort ☐ Fragment

Etat du cadavre :

☒ Frais ☐ Avancé ☐ Décomposé ☐ Sec

Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour…) : Pas de traces de collision

COMMENTAIRES :

FICHE DE TERRAIN STANDARDISEE – MORTALITE OISEAUX

Nom du parc éolien : POUGNY (58)

Point n°	Date :	Heure :	Nom du découvreur :
3	23/07/19	07h35	CARNET Mathurin

Localisation :

Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte

Latitude :

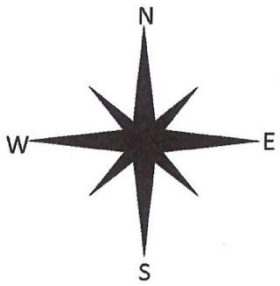
Longitude :

Numéro de l'éolienne la plus proche : POU6

Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 1,5 m

Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : W

Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : Plateforme, 0 cm



N° de photos :

Description et identification :

Taille de l'oiseau (ailes déployées) : 30 cm

Particularités (couleur, forme quelconque) :

Identification (famille, espèce si possible) : Bruant proyer

Etat de l'individu :

☐ Vivant (blessé) ☒ Mort ☐ Fragment

Etat du cadavre :

☒ Frais ☐ Avancé ☐ Décomposé ☐ Sec

Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour…) : Pas de traces de collision

COMMENTAIRES :

FICHE DE TERRAIN STANDARDISEE – MORTALITE CHAUVES-SOURIS

Nom du parc éolien : POUGNY (58)

Point n°	**Date :**	**Heure :**	**Nom du découvreur :**
1	10/09/19	16 h 10	TURBAN Remi et CARNET Mathieu

Localisation :

Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte

Latitude :

Longitude :

Numéro de l'éolienne la plus proche : 1

Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : ~ 75 m

Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche :

Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : Plateforme, 0 cm

N° de photos :

Description et identification :

Taille de la chauve-souris (ailes déployées) : 18 cm

Particularités (couleur, forme quelconque) :

Identification (famille, espèce si possible) : Pipistrelle commune

Etat de l'individu :

☐ Vivant (blessé) ☒ Mort ☐ Fragment

☐ Blessure apparente ☒ Sans blessure visible

Etat du cadavre :

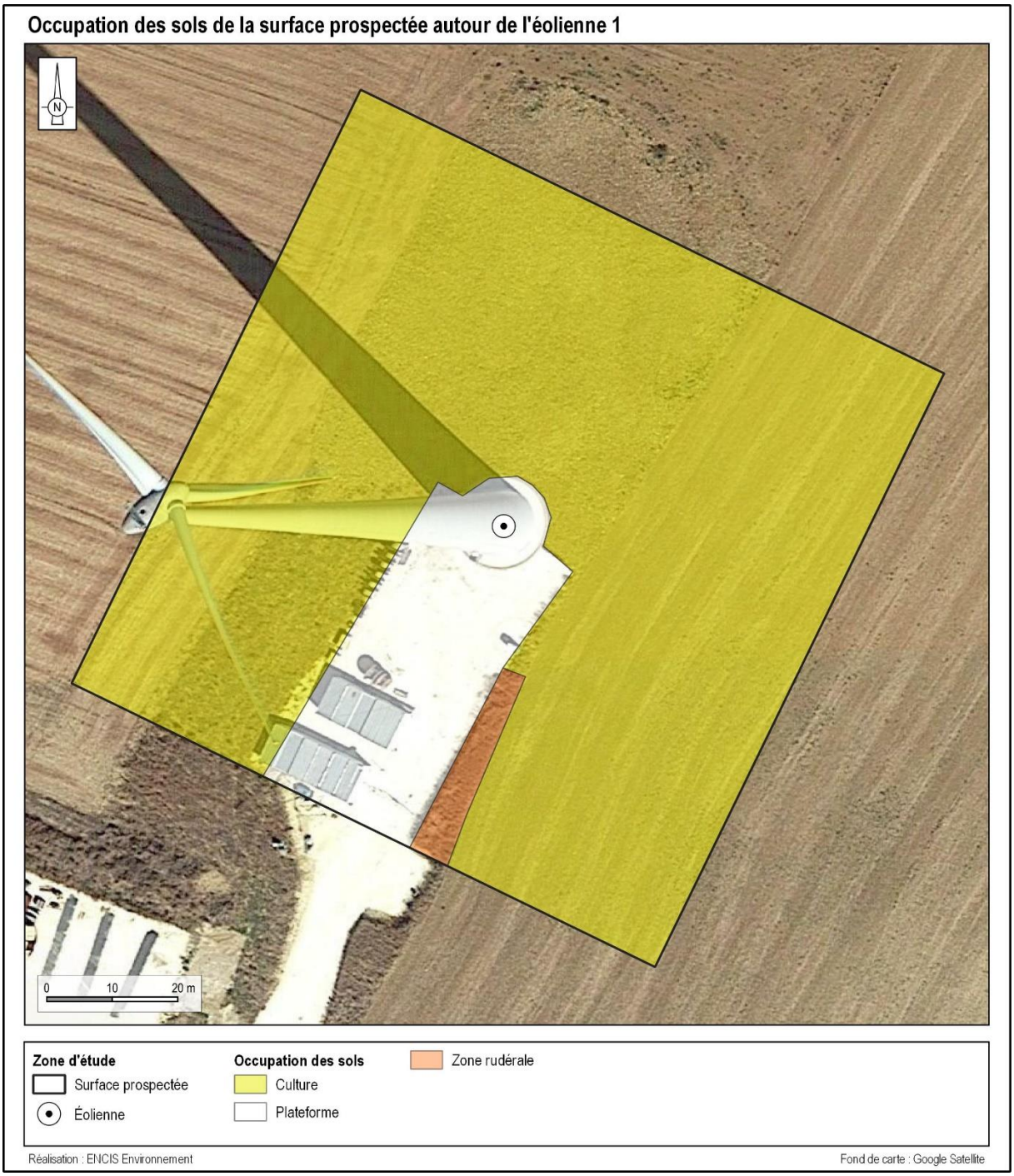
☒ Frais ☐ Avancé ☐ Décomposé ☐ Sec

Cause présumée de la mort (collision avec pale, barotraumatisme…) :

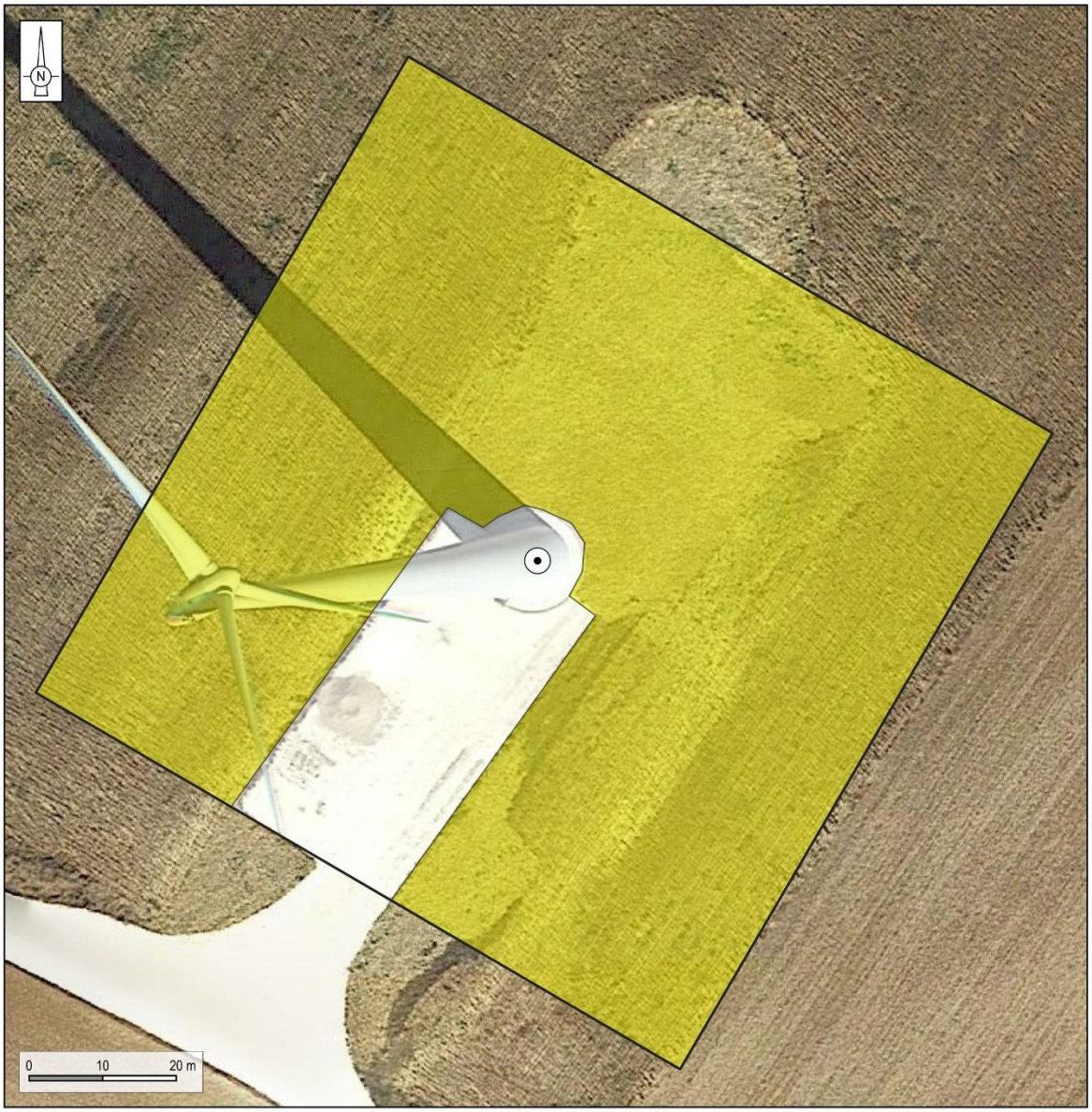
Pas de traces de collision

COMMENTAIRES :

Annexe 5 : Occupation des sols des surfaces théoriques de prospection



Occupation des sols de la surface prospectée autour de l'éolienne 2



Zone d'étude
- Surface prospectée
- Éolienne

Occupation des sols
- Culture
- Plateforme

Réalisation : ENCIS Environnement

Fond de carte : Google Satellite

Occupation des sols de la surface prospectée autour de l'éolienne 3

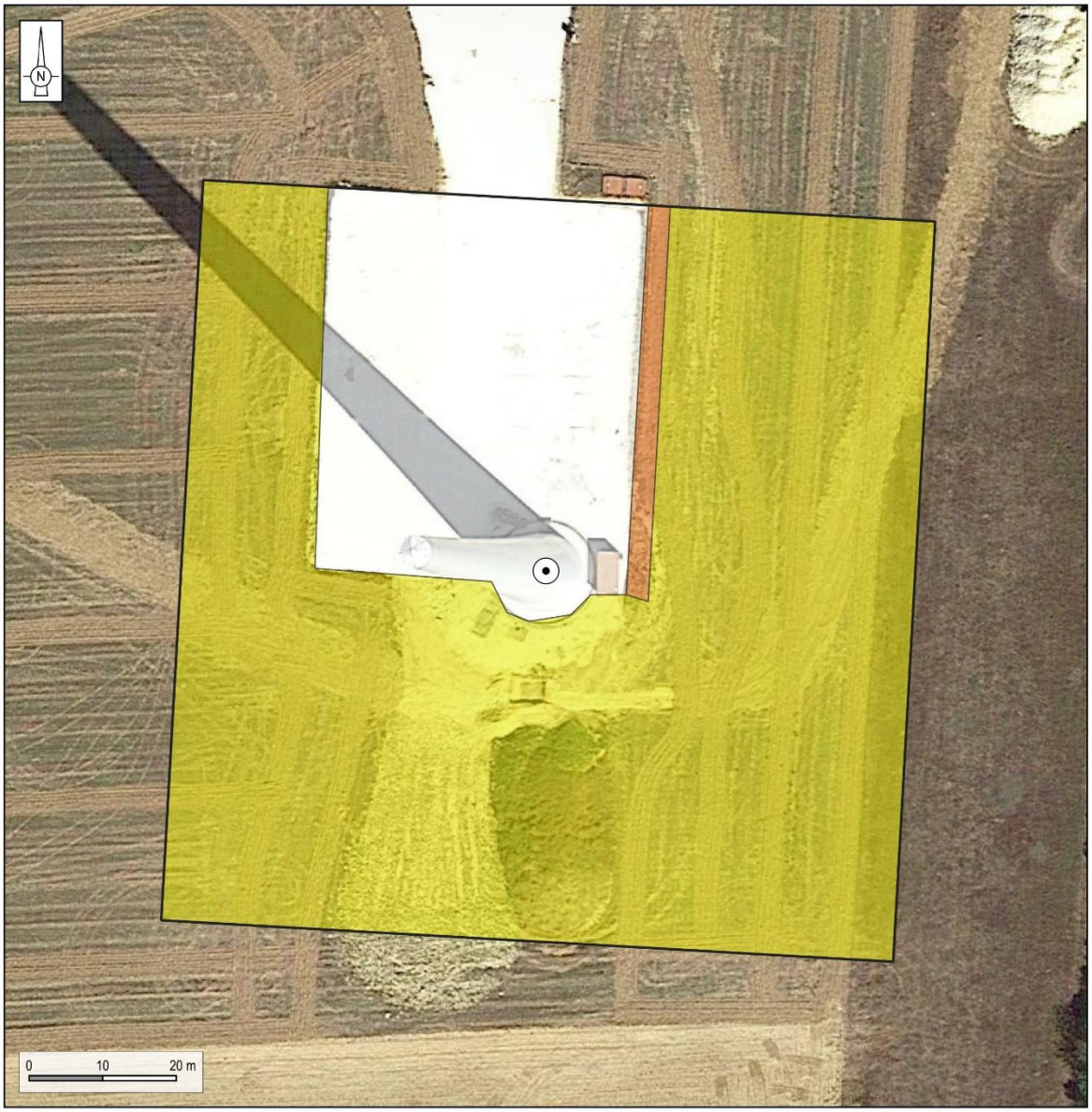
Zone d'étude
- Surface prospectée
- Éolienne

Occupation des sols
- Culture
- Plateforme

Réalisation : ENCIS Environnement

Fond de carte : Google Satellite

Occupation des sols de la surface prospectée autour de l'éolienne 4



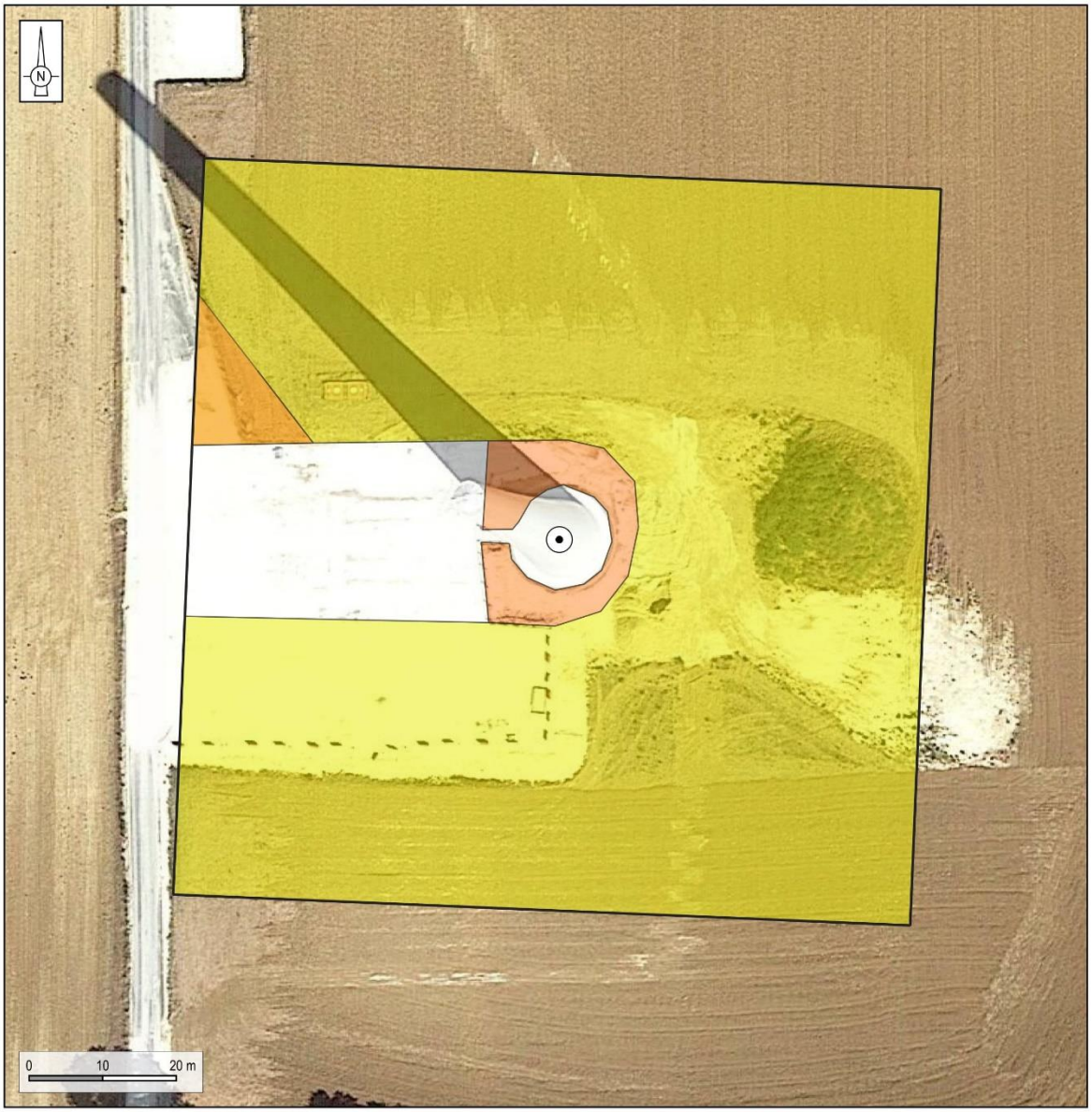
Zone d'étude
- Surface prospectée
- Éolienne

Occupation des sols
- Culture
- Plateforme
- Zone rudérale

Réalisation : ENCIS Environnement

Fond de carte : Google Satellite

Occupation des sols de la surface prospectée autour de l'éolienne 5



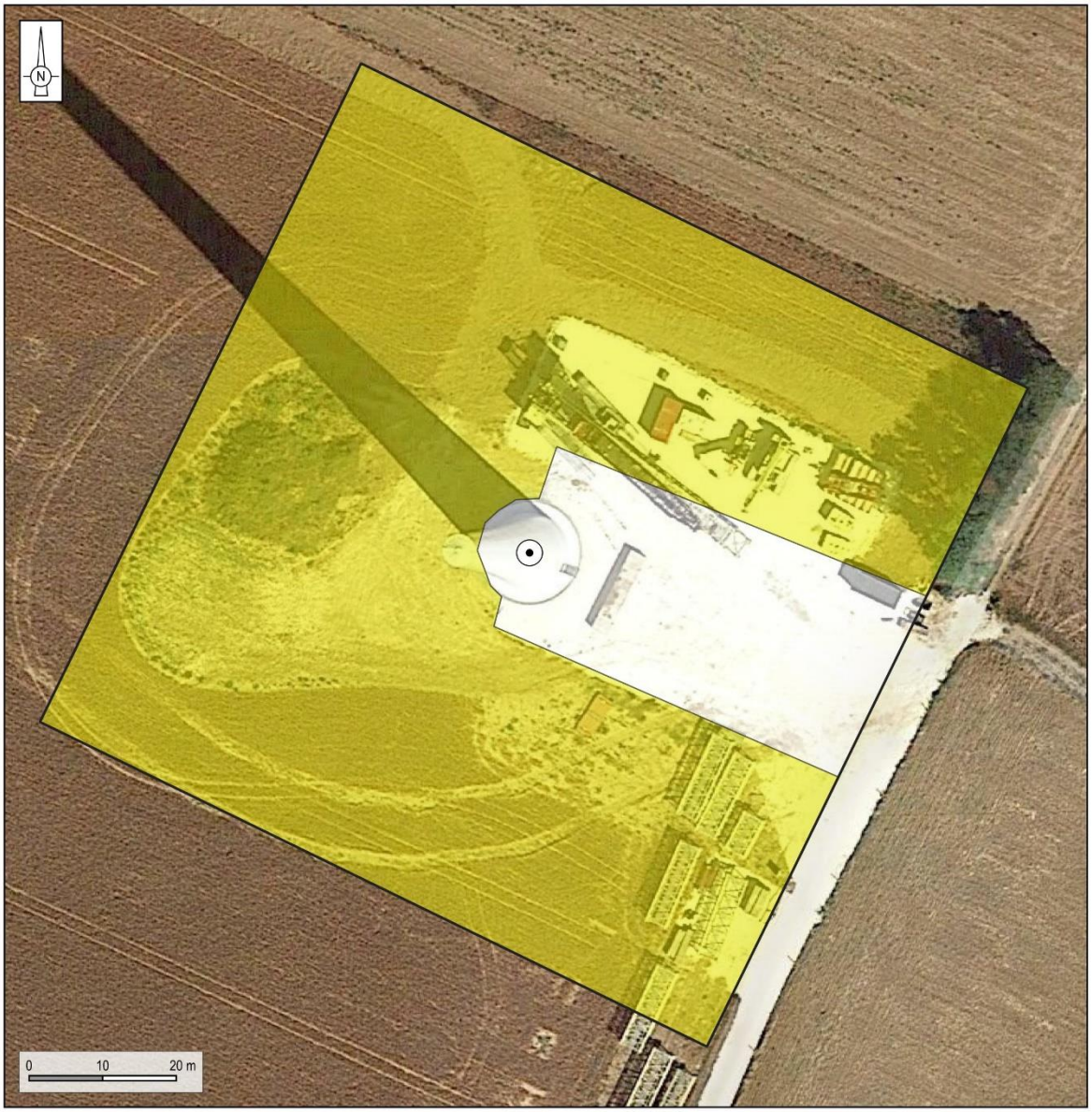
Zone d'étude
- Surface prospectée
- Éolienne

Occupation des sols
- Culture
- Plateforme
- Zone rudérale

Réalisation : ENCIS Environnement

Fond de carte : Google Satellite

Occupation des sols de la surface prospectée autour de l'éolienne 6



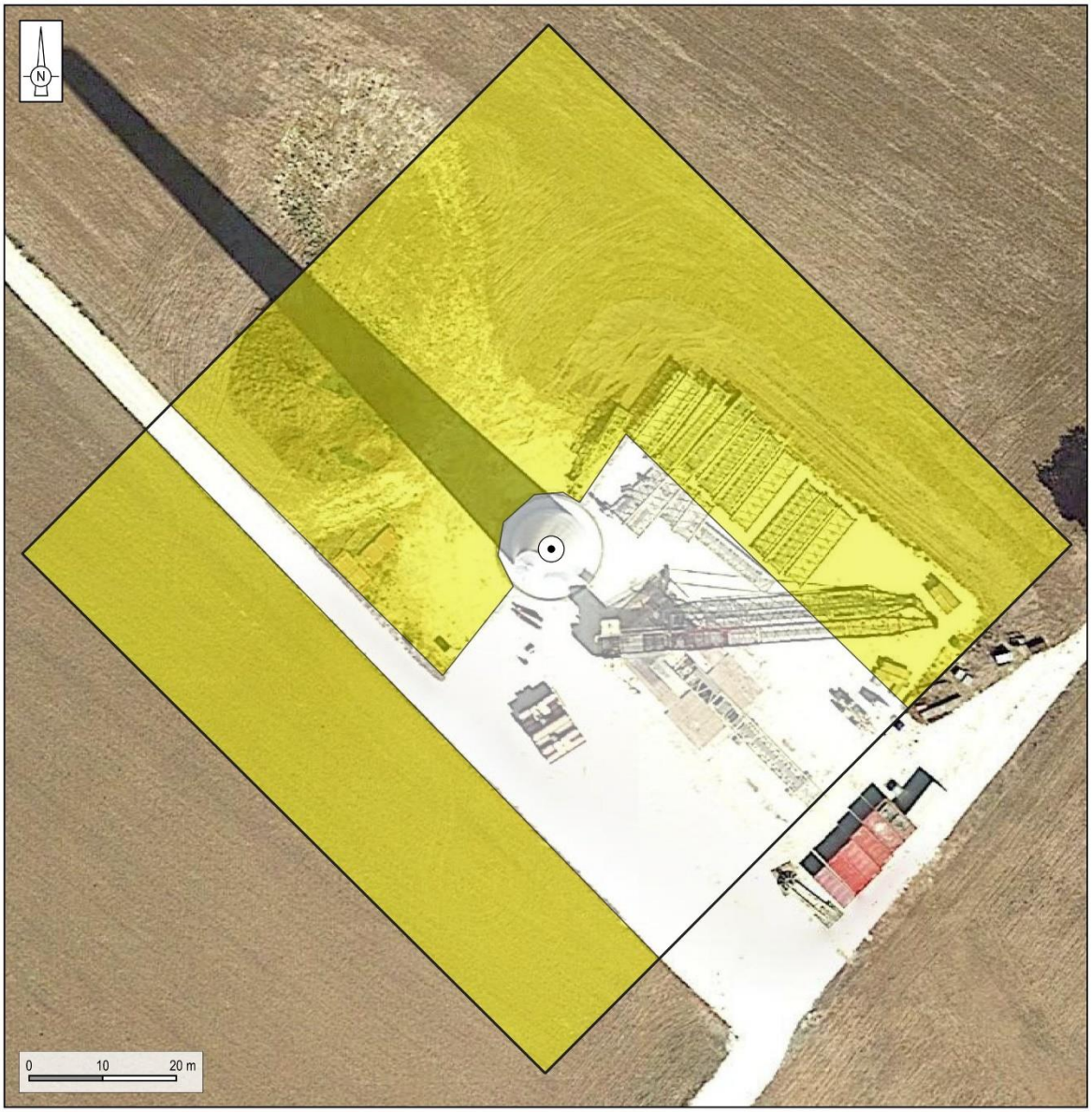
Zone d'étude
- Surface prospectée
- Éolienne

Occupation des sols
- Culture
- Plateforme

Réalisation : ENCIS Environnement

Fond de carte : Google Satellite

Occupation des sols de la surface prospectée autour de l'éolienne 7



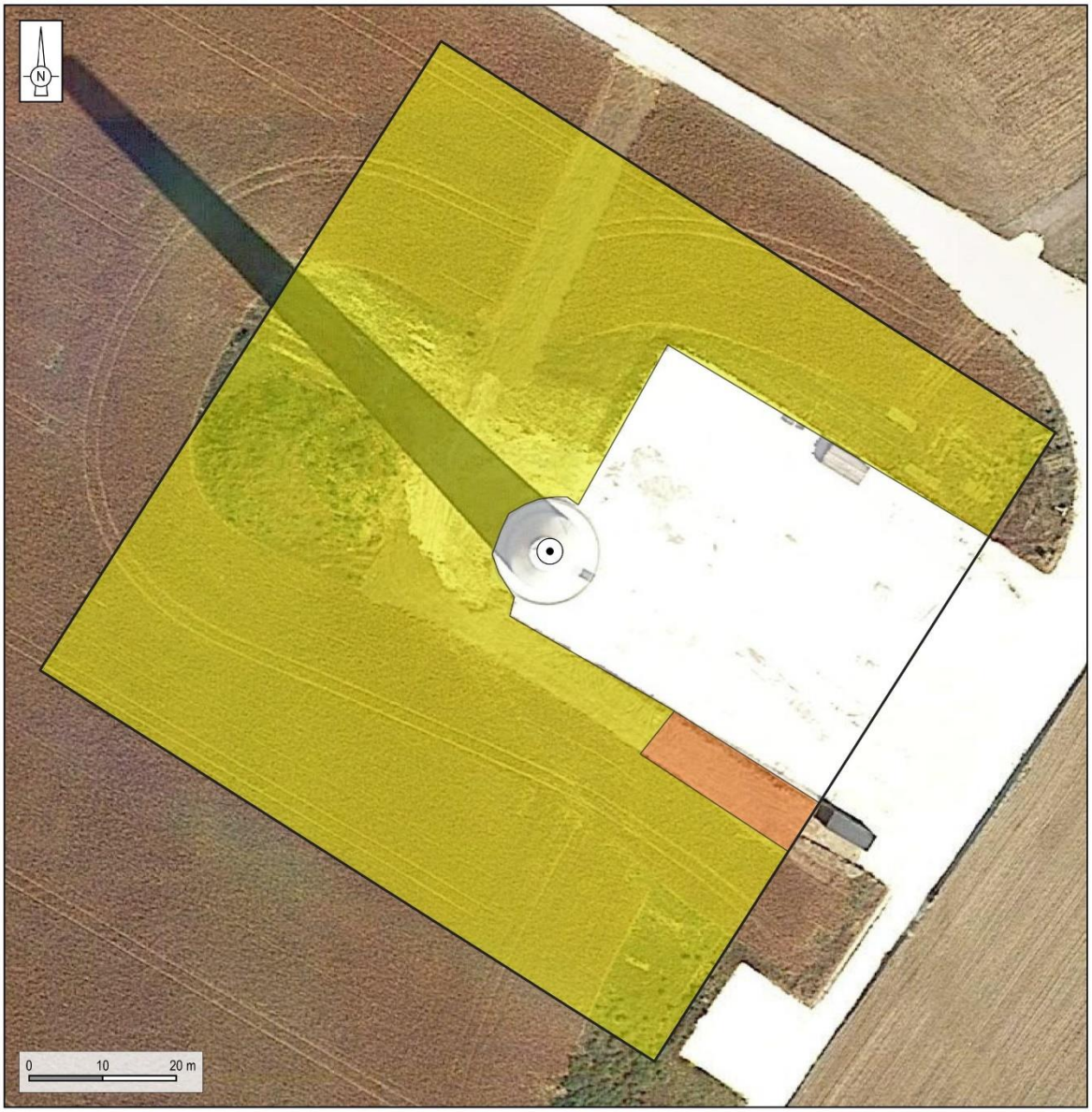
Zone d'étude
- Surface prospectée
- Éolienne

Occupation des sols
- Culture
- Plateforme

Réalisation : ENCIS Environnement

Fond de carte : Google Satellite

Occupation des sols de la surface prospectée autour de l'éolienne 8



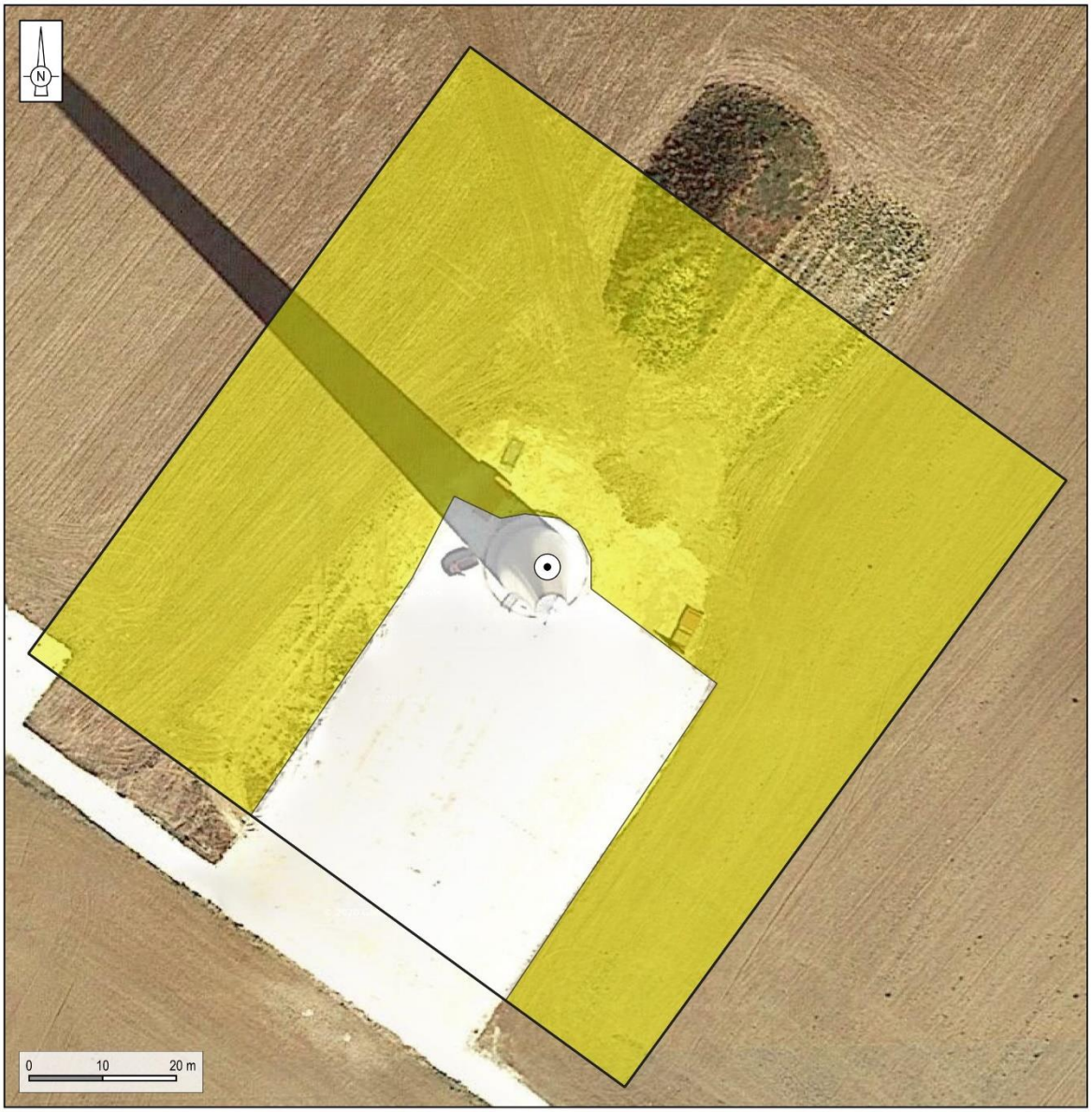
Zone d'étude
- Surface prospectée
- Éolienne

Occupation des sols
- Culture
- Plateforme
- Zone rudérale

Réalisation : ENCIS Environnement

Fond de carte : Google Satellite

Occupation des sols de la surface prospectée autour de l'éolienne 9



Zone d'étude
- Surface prospectée
- Éolienne

Occupation des sols
- Culture
- Plateforme

Réalisation : ENCIS Environnement

Fond de carte : Google Satellite

Occupation des sols de la surface prospectée autour de l'éolienne 10

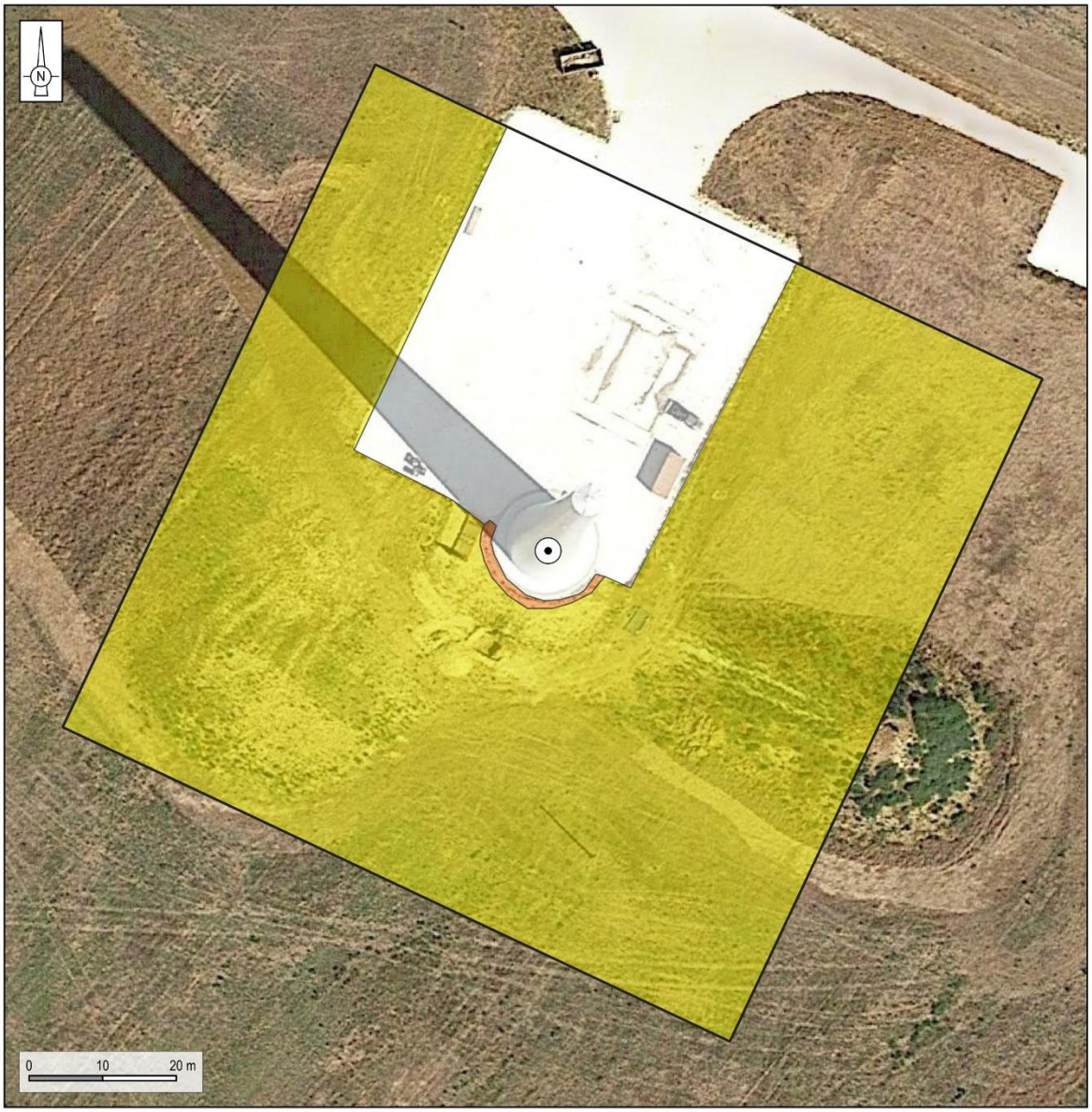
Zone d'étude
- Surface prospectée
- Éolienne

Occupation des sols
- Culture
- Plateforme
- Zone rudérale

Réalisation : ENCIS Environnement

Fond de carte : Google Satellite

Occupation des sols de la surface prospectée autour de l'éolienne 11



Zone d'étude
- Surface prospectée
- Éolienne

Occupation des sols
- Culture
- Plateforme
- Zone rudérale

Réalisation : ENCIS Environnement

Fond de carte : Google Satellite